



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN GEOGRAFÍA
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DEL CERRO DE LA CRUZ, POR MEDIO
DE SISTEMAS MICROELECTROMECÁNICOS EN LA CIUDAD DE TLAPA DE
COMONFORT, GUERRERO, MÉXICO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

KARLA AURORA DE LA PEÑA GUILLÉN

TUTOR

DR. LUIS MIGUEL MORALES MANILLA

POSGRADO EN GEOGRAFÍA

CIUDADA DE MÉXICO SEPTIEMBRE 2016.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mi mamá por estar siempre a mi lado cuando más necesito su apoyo y por impulsarme siempre en todo lo que me he propuesto. Gracias "mami", ¡te amo!

A mi papá por ser un padre ejemplar que siempre ha buscado lo mejor para mí, que me ha apoyado por sobretodo. ¡Te amo pa'!

A mis hermanos Luis Carlos y Braulio, por estar ahí siempre sacándome una sonrisa, a Luis Carlos por enseñarme a que si me lo propongo lo puedo lograr y a Braulio por no ser sólo mi hermano, sino también mi amigo y compañero. Los quiero hermanos.

A ti abuelito Guillermo, quiero compartirte el segundo logro en mi vida profesional y donde quiera que te encuentres te sientas orgulloso de tu hijo y tu nieta.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT por haberme otorgado la beca con la que pude realizar mis estudios de posgrado.

A la UNAM por abrirme las puertas en uno de sus centros de investigación y darme la oportunidad de aprender mucho más.

A mi tutor Luis Miguel Morales Manilla por haberme brindado la oportunidad de trabajar con él y haber compartido sus conocimientos conmigo para realizar este trabajo.

Al maestro Antonio Navarrete Pacheco por haberme brindando sus conocimientos y su tiempo en el proceso de elaboración de esta tesis. Mil Gracias maestro.

A mi comité sinodal Dr. José de Jesús Alfonso Fuentes, Dr. Manuel Mendoza, Dr. Arturo Muñoz, Mtro. Antonio Navarrete

A mis súper chicas Paz (Bellota), Araceli (Bombón) y Gemma (La jefa) y claro, mi amigo Ignacio (Nacho), gracias muchachos por haberme acompañado y brindado su amistad en este trayecto, ¡Los quiero!

A mi maestro y amigo Germán Urbán Lamadrid (el verde), porque sin sus enseñanzas no hubiera logrado llegar hasta aquí.

A Mi amigo Miguel Salinas por estar ahí animándome y apoyándome todo el tiempo.

Al doctor Pedro Urquijo por su apoyo en el proceso de trámites y por alentarme todos los días.

Al equipo de Protección Civil Estatal y municipal de Tlapa por su colaboración y apoyo en el trabajo de campo.

A mi amigo Cuauhtémoc Patiño por su apoyo en la instalación de los sensores sobre el Cerro de La Cruz, sin tu ayuda no lo habríamos conseguido y ¡perdón por arriesgartel!

RESUMEN

El propósito principal de este estudio es proponer un sistema para el monitoreo de deslizamientos por medio de Sistemas MicroElectroMecánicos (MEMS) el deslizamiento del cerro de La Cruz ubicado en la ciudad de Tlapa de Comonfort, Guerrero, así como de evaluar, de manera inicial, la vulnerabilidad de la población, la infraestructura y actividades económicas, con el fin de generar información crucial para los tomadores de decisiones y así generar planes de prevención para los habitantes de esta zona.

Se realizó un trabajo de integración de componentes microelectrónicos (acelerómetro, giróscopo y magnetómetro), con un sistema de transmisión inalámbrica de datos y un sistema de alimentación de energía eléctrica en base a energía solar, para construir un dispositivo que permitiera registrar los movimientos en tres dimensiones del deslizamiento objeto de estudio.

Se hizo una caracterización física de las zonas de deslizamiento dentro del área de estudio, mediante la cual se determinó el sitio en el que se debía instalar el dispositivo de monitoreo. Una vez realizada la instalación la información generada con el dispositivo se utilizará para analizar la deformación periódica del cerro, con lo cual será posible tener una idea aproximada de la evolución de las deformaciones y su eventual colapso. En tanto que para la evaluación de la vulnerabilidad se aplica el modelo de vulnerabilidad Spatial Analysis of the Vulnerability Environment (SAVE).

Se obtuvieron resultados que indican la dimensión que alcanzaría el evento, tomando en cuenta el escenario más catastrófico. Se concluye que el uso de los sistemas electromecánicos son una alternativa viable para el monitoreo de deslizamientos, lo que aunado con herramientas como los Sistemas de Información Geográfica, son de gran utilidad para modelar los posibles deslizamientos y las áreas de afectación de estos, y a partir de ellos evaluar cuantitativamente la vulnerabilidad

Palabras clave: MEMS, deslizamientos, vulnerabilidad

ABSTRACT

The aim of this study is a methodological approach to landslide monitoring in the Cerro de La Cruz, located in the city of Tlapa de Comonfort, Guerrero, Mexico, through the use of microelectromechanical systems (MEMS). A complementary objective is the assessment of the vulnerability of the population, infrastructure and economic activities to land mass movement, in order to generate relevant information for decision makers to avoid and prevention schemes for the inhabitants of study area. The device record movements of the landslide in three dimensions. This device integrates microelectronic components (accelerometer, gyroscope and magnetometer) with a wireless data transmission system and is powered by solar energy.

A physical characterization of the land mass displacement area was done in the study area, to understand the landslide structure and decide the place where the device was to be installed. Once the device was installed, data generated by the device is used to analyze the deformation of the hill, which provides a rough idea of the evolution of hill deformation and its eventual collapse. To assess the vulnerability we partially used the Vulnerability Analysis Spatial Environment model (SAVE).

The results indicated the magnitude the event could reach, taking into account an scenario with catastrophic effects. I conclude that the use of Microelectromechanical Systems is a viable alternative to landslide monitoring. Using this monitoring system, together with Geographic Information Systems, becomes a useful tool for both, modeling and predicting the possible location of landslides and affected areas, and by asses vulnerability.

Keywords: MEMS, landslides, vulnerability.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 DESLIZAMIENTOS	3
1.2.1 Características de los deslizamientos.....	4
1.2.2 Tipos de deslizamientos	5
1.2.3.1 Deslizamientos Rotacionales.....	6
1.2.3.2 Deslizamientos Traslacionales	6
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.3 JUSTIFICACIÓN	8
1.4 ANTECEDENTES	9
1.5. OBJETIVOS	15
1.5.1 Objetivo general.....	15
1.5.2 Objetivos particulares	15
1.5.3 Preguntas de investigación.....	15
CAPÍTULO II	16
MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL	16
2.1 MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL	17
2.1.1 Riesgo.....	17
2.1.2 Vulnerabilidad	18
2.1.3 Peligro.....	21
2.1.4 Los Sistemas MicroElectroMecánicos y su función	21
2.1.6.1 Tipos de sistemas Microelectromecánicos	23
2.1.7 El monitoreo de deslizamientos por medio de MEMS.....	25
CAPÍTULO III	26
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	26
3.1 LOCALIZACIÓN	27
3.2 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	28
3.2.1 Geología	28
3.2.2 Climatología.....	30
3.2.3 Hidrología	32
3.2.4. Geomorfología	33
3.2.5. Tipos de Cubierta Vegetal	34

3.2.6 Altitudes	36
3.2.7 Aspectos Socio-Económicos	37
3.2.7.1 Actividades Económicas	37
3.2.7.2 Equipamiento urbano	37
CAPÍTULO IV	39
MATERIALES Y MÉTODO	39
4.1. MATERIALES	40
4.2. MÉTODO	43
4.2.1. Recopilación documental	43
4.2.2 Análisis de las variables y caracterización de los cerros	46
4.2.2.1 Análisis de precipitación	46
4.2.2.2 Análisis de sismicidad	46
4.2.2.3 Estructuras de los Cerros	47
4.2.2.4 Topografía de los Cerros	48
4.2.3 Configuración de los sistemas Microelectromecánicos	49
4.2.3.1 Configuración radio Xbee-placa IMU Razor 9DOF	49
4.2.3.2 Conexión a la corriente eléctrica	50
4.2.3.3 Instalación del software/interfaz	50
4.2.3.4 Montaje del cableado IMU-Radio	51
4.2.4 Instalación de los Sistemas Microelectromecánicos	51
4.2.4.1 Características del sistema de monitoreo	51
4.2.4.2 Sitio de instalación	52
4.2.5 Calibración de sensores	54
4.2.5.1 Calibración del acelerómetro	54
4.2.5.3 Calibración de magnetómetro	55
4.2.5.4 Calibración conjunta de sensores	56
4.2.6 Prueba de alcance placa-radio	56
4.2.7 Prueba de laboratorio	58
4.2.7 Monitoreo de la deformación	59
4.2.8 Recopilación de datos	59
4.3 MODELACIÓN	60
4.3.3 Modelamiento de los deslizamientos de los Cerros de La Cruz y Bola60	60
4.4 MÉTODO PARA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	64
4.4.1 Evaluación de la vulnerabilidad	66
4.4.1.1 Identificación del escenario	66
4.4.2 Identificación de los sujetos de vulnerabilidad	66
4.4.2.1 Definición de sujetos de vulnerabilidad	66

4.4.2.2 Definición espacial de los sujetos de vulnerabilidad	68
4.5.1 Niveles de vulnerabilidad	69
4.5.1.1 Peligro por deslizamientos	69
4.5.1.1.1.Evaluación de la vulnerabilidad por exposición	69
4.5.1.2. Peligro por inundación	70
4.5.1.2.1 Evaluación de la vulnerabilidad por exposición a inundación	71
4.5.1.2.2 Evaluación de la vulnerabilidad relativa por sensibilidad a inundación.....	71
4.5.1.2.3 Evaluación de la vulnerabilidad relativa por resiliencia a inundación.....	73
CAPÍTULO V:	75
RESULTADOS	75
5.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	76
5.1.1 Precipitaciones	76
5.1.1.1 Análisis de precipitaciones	76
5.1.2 Sismicidad	78
5.1.2.1 Análisis de sismicidad.....	78
5.1.3 Caracterización de los cerros de La Cruz y Bola	86
5.1.4 Análisis de la deformación	87
5.1.4.1 Estructuras del Cerro de La Cruz	87
5.1.4.2 Estructuras del Cerro Bola.....	88
5.1.5 Resultados de calibración de los sensores del dispositivo	92
5.1.6 Prueba en campo de los sensores.....	95
5.1.7 Instalación del sensor	98
5.1.8 Presentación y almacenamiento de datos obtenidos.....	100
5.1.9 Perfiles topográficos de los Cerros de La Cruz y Bola.....	104
5.1.9.1 Perfiles del Cerro de La Cruz	104
5.1.9.2 Perfiles del Cerro Bola.....	111
5.2 NIVELES DE VULNERABILIDAD	118
5.2.1 Evaluación de la vulnerabilidad	118
5.2.1.1 Vulnerabilidad frente al peligro por deslizamientos	119
5.2.1.1.1 Evaluación de vulnerabilidad por exposición a los deslizamientos.....	122
5.2.2.1 Vulnerabilidad frente al peligro por Inundación.....	135
5.2.2.1.1 Evaluación de la vulnerabilidad por exposición a inundación (Cerros de La Cruz y Bola).....	136
CAPÍTULO VI:	172

DISCUSIÓN	172
6.1. DISCUSIÓN	173
CAPITULO VII	178
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	178
CAPITULO 7.1. CONCLUSIONES	179
7.2 RECOMENDACIONES	182
7.2.1 Medidas no estructurales aplicadas a deslizamientos e inundaciones.....	182
7.2.3.1 Medida estructural	183
7.2.3.2 Medida no estructural	184
7.2.4 Prevención de la inundación.....	184
7.2.4.1 Medida estructural	184
7.3.2 Medida no estructural	185
BIBLIOGRAFÍA	186
ANEXOS	196

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Deslizamiento rotacional (Girty, 2009).....	6
Figura 2. Deslizamiento Traslacional, tomado de Girty, (2009).....	7
Figura 5. Deslizamiento de Huamuxtitlán	12
Figura 3. Deslizamiento Copanatoyac.....	12
Figura 4. Deslizamiento Axoxuca	12
Figura 6. Deslizamiento Tlapa de Comonfort	12
Figura 7. Deslizamiento La Esperanza	13
Figura 8. Deslizamiento Ahuatepec.....	13
Figura 10. Deslizamiento Otate	13
Figura 9. Deslizamiento Tlahuapa	13
Figura 11. Figura. Deslizamiento Aquilpa	14
Figura 12. Tipos de mediciones por MEMS (Analog Devices, Inc, 2014a).....	22
Figura 13. Los tres tipos de movimientos rotatorios sobre los planos axiales X, Y y Z.....	24
Figura14. Medición y monitoreo en	25
Figura15. Localización del área de estudio	27
Figura 16. Geología de la zona de estudio	28
Figura17. Tipos de clima de la zona de estudio	30
Figura18. Hidrología de la zona de estudio	32
Figura19. Geomorfología del área de estudio	33
Figura 20. Unidades de Uso de Suelo y Cobertura Vegetal	34
Figura 21. Mapa hipsométrico	36
Figura 22. Diagrama de flujo de secuencia metodológica	42
Figura 23. Radio emisor	51
Figura 24. Radio receptor	51
Figura 25. Placa IMU Razor 9DOF	52
Figura 26. Caja de polipropileno con panel solar adherido.....	52
Figura 27. Cableado de la placa.....	53
Figura 28. Conexiones entre la placa IMU Razor y el radio emisor	54
Figura 29. Montado de placa IMU (izquierda) y radio (derecha) sobre el dron.....	57
Figura 30. Impresión de pantalla de un teléfono inteligente utilizado para monitorear el vuelo y recorrido del dron en tiempo real. En la parte inferior se aprecian los valores H: 200.3 y D: 1336.2 que corresponden a la altura y distancia a la cual todavía se registraron datos correctos de la placa IMU.	57
Figura 31. Metodología general para definir áreas vulnerables a deslizamientos (Morales, 2007)	64

Figura 32. Esquema SAVE de análisis de vulnerabilidad	65
Figura 33. Análisis de precipitación mensual en comparación con los eventos máximos mensuales ocurridos en el periodo de 1961-2013.	76
Figura 34. Mapa de epicentros	79
Figura 35. Regionalización sísmica de México (CENAPRED, 2006).....	79
Figura 36. Distancia del área de estudio con respecto al epicentro	82
Figura 37. Distancia máxima desde el epicentro al deslizamiento por sismos de diferentes magnitudes (Keefer, 1984)	83
Figura 38. Velocidades sísmicas	85
Figura 39. Cerros de La Cruz (izquierda) y Bola (derecha)	86
Figura 40. Morfología del Cerro de La Cruz	89
Figura 41. Morfología del Cerro Bola.....	90
Figura 42. Depósitos de ladera del Cerro de La Cruz	91
Figura 43. Depósitos de ladera en el Cerro Bola.....	92
Figura 44. Gráfica de movimientos angulares durante la calibración de los sensores en conjunto. Datos obtenidos para el eje de las X.....	94
Figura 45. Gráfica de movimientos angulares durante la calibración de los sensores en conjunto. Datos obtenidos para el eje de las Y.....	94
Figura 46. Movimiento relativo de la placa sobre un montículo de tierra sujeto a vibraciones, con el eje Y de la placa perpendicular a la pendiente del montículo.”. Los valores en la leyenda de la gráfica representan distancias a las que se lanzó el objeto productor de vibraciones.	96
Figura 47. Movimiento relativo de la placa sobre un montículo de tierra sujeto a vibración, con el eje X de la placa perpendicular a la pendiente del montículo. Los valores en la leyenda de la gráfica representan distancias a las que se lanzó el objeto productor de vibraciones.	98
Figura 48. Localización del sitio de instalación de los sensores. La línea amarilla representa una distancia de 1036 metros.	99
Figura 49. Preparación del equipo de seguridad para comenzar el descenso al sitio seleccionado para el montaje de los sensores	99
Figura 50. Limpieza del sitio donde se realizó el montaje y montaje de los sensores.....	100
Figura 51. Lapiaz producido por efectos de la lluvia.....	100
Figura 52. Vista desde el sitio de montaje de los sensores hacia el sitio donde se localiza la base receptora (a la derecha del campo de fútbol).	100
Figura 53. Posición final del montaje sobre la pared de yeso.....	100
Figura 54. Perspectiva de la pared de yeso, del cual está conformado casi en su totalidad el Cerro de La Cruz.....	100

Figura 55. Diagrama de análisis de posicionamiento de Pitch (X) sobre el Cerro de La Cruz.....	102
Figura 56. Diagrama de análisis de posicionamiento de Roll (X) sobre el cerro de La Cruz.....	103
Figura 57. Mapa de ubicación de perfiles del Cerro de La Cruz.....	104
Figura 58. Perfil número 2 del cerro de La Cruz.....	105
Figura 59. Perfil número 2 del cerro de La Cruz.....	105
Figura 60. Perfil número 3 del cerro de La Cruz.....	106
Figura 61. Perfil Número 4 del Cerro de La Cruz	107
Figura 62. Perfil número 5 del Cerro de La Cruz	108
Figura 63. Perfil número 6 del Cerro de La Cruz	109
Figura 64. Perfil número 7 del Cerro de La Cruz	110
Figura 65. Mapa de ubicación de perfiles del Cerro de la Bola	111
Figura 66. Perfil número 1 del Cerro Bola.	112
Figura 67. Perfil número 2 del Cerro Bola.	113
Figura 68. Perfil número 3 del Cerro Bola	114
Figura 69. Perfil número 4 del Cerro Bola	115
Figura 70. Perfil número 5 del Cerro Bola	116
Figura 71. Perfil número 6 del Cerro Bola	117
Figura 72. Mapa de sujetos de vulnerabilidad	118
Figura 73. Modelado del deslizamiento / depósito del Cerro de La Cruz (polígono en negro).....	120
Figura 74. Modelado del deslizamiento / depósito del Cerro Bola (polígono en negro).....	121
Figura 75. Mapa de manzanas afectadas por exposición al deslizamiento del Cerro de la Bola.	123
Figura 76. Vialidades afectadas por deslizamiento del Cerro de La Cruz.	125
Figura 77. Mapa de exposición de equipamiento urbano al deslizamiento del Cerro de La Cruz.....	126
Figura 78. Actividades económicas afectadas por exposición al deslizamiento del Cerro de La Cruz.....	127
Figura 79. Mapa de manzanas afectadas por exposición al deslizamiento del Cerro de la Bola.	130
Figura 80. Exposición de vialidades al deslizamiento del Cerro Bola.....	132
Figura 81. Exposición del equipamiento urbano al deslizamiento del Cerro Bola	133
Figura 82. Actividades económicas afectadas por exposición al deslizamiento del Cerro Bola.	134

Figura 83. Mapa de susceptibilidad a inundación como consecuencia del deslizamiento del Cerro de La Cruz.	137
Figura 84. Mapa de vulnerabilidad a exposición de población por manzana por inundación a consecuencia del deslizamiento del Cerro de La Cruz.	138
Figura 85. Mapa de vulnerabilidad a exposición de viviendas por inundación a consecuencia del deslizamiento del Cerro de La Cruz.....	139
Figura 86. Mapa de vulnerabilidad por exposición de equipamiento urbano por inundación a consecuencia del deslizamiento del Cerro de La Cruz.	140
Figura 87. Mapa vulnerabilidad por exposición de vialidades por inundación a consecuencia del deslizamiento del Cerro de La Cruz.....	141
Figura 88. Vulnerabilidad a exposición de actividades económicas, por inundación por consecuencia del deslizamiento del cerro de La Cruz.	142
Figura 89. Mapa de vulnerabilidad relativa por sensibilidad de la población por condición de edad.	144
Figura 90. Mapa de sensibilidad por equipamiento urbano (Cerro de La Cruz).	146
Figura 91. Mapa de vulnerabilidad relativa a resiliencia por condición de edad de la población infantil. A mayor resiliencia menor vulnerabilidad.....	147
Figura 92. Mapa de vulnerabilidad relativa a resiliencia por condición de edad de la población de adultos mayores.	149
Figura 93. Mapa de vulnerabilidad a resiliencia por condición de derechohabencia. A mayor resiliencia menor vulnerabilidad.....	150
Figura 94. Mapa de vulnerabilidad a resiliencia por condición económica. A mayor resiliencia menor vulnerabilidad. A mayor resiliencia menor vulnerabilidad.....	152
Figura 95. Mapa de susceptibilidad a inundación como consecuencia del deslizamiento del Cerro Bola.....	154
Figura 96. Mapa de vulnerabilidad a exposición de población, por inundación a consecuencia del deslizamiento del Cerro Bola.....	155
Figura 97. Mapa de vulnerabilidad a exposición de viviendas por inundación a consecuencia del deslizamiento del Cerro Bola.	156
Figura 98. Mapa de vulnerabilidad a exposición de equipamiento urbano por inundación a consecuencia del deslizamiento del cerro Bola.....	158
Figura 99. Mapa de vulnerabilidad a exposición de vialidades por inundación a consecuencia del deslizamiento del Cerro Bola.	159
Figura 100. Vulnerabilidad por exposición de actividades económicas a inundación a consecuencia del deslizamiento del Cerro Bola.....	160
Figura 101. Mapa de vulnerabilidad relativa por sensibilidad de la población por condición de edad (Cerro Bola).....	162
Figura 102. Mapa de sensibilidad por equipamiento urbano.	163

Figura 103. Mapa de vulnerabilidad relativa a resiliencia por condición de edad (población infantil). A mayor resiliencia menor vulnerabilidad.....	165
Figura 104. Mapa de vulnerabilidad relativa a resiliencia por condición de edad de la población de adultos mayores. A mayor resiliencia menor vulnerabilidad.....	166
Figura 105. Mapa de vulnerabilidad relativa por resiliencia por condición de derechohabencia (Cerro Bola). A mayor resiliencia menor vulnerabilidad. A mayor resiliencia menor vulnerabilidad.	168
Figura 106. Mapa de vulnerabilidad relativa por resiliencia por condición económica (Cerro Bola). A mayor resiliencia menor vulnerabilidad. A mayor resiliencia menor vulnerabilidad.	170

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de unidades geológicas del área.....	29
Tabla 2. Distribución de unidades climáticas del área.	31
Tabla 3. Materiales utilizados para el montaje del sistema de monitoreo	40
Tabla 4. Insumos utilizados en la cartografía base, temática y analítica.	41
Tabla 5. . Medidas de perfiles en longitud sobre el terreno	48
Tabla 6. Conexión básica IMU Razor-Radio XBee	54
Tabla 7. Posiciones de origen para el sujeto de prueba	58
Tabla 8. Posición de origen de la placa instalada sobre la parte superior de la cara frontal del Cerro de La Cruz.	59
Tabla 9. Configuración para el procesamiento de modelos	63
Tabla 10. Propiedades del material	63
Tabla 11. Umbrales de probabilidad de ocurrencia de deslizamiento por precipitación media mensual (CENAPRED, 2013).....	78
Tabla 12. Resultados obtenidos para la calibración.....	93
Tabla 13. Resultados obtenidos de la prueba para el eje Y colocado perpendicularmente al sentido de la pendiente.....	96
Tabla 14. Resultados obtenidos de la prueba para el eje X colocado perpendicularmente al sentido de la pendiente.....	97
Tabla 15. Extracto de los datos obtenidos una vez instalado el dispositivo	101
Tabla 16. Distribución de la superficie de los sujetos de vulnerabilidad	118
Tabla 17. Valores de nivel de vulnerabilidad por exposición.....	123
Tabla 18. Tipo de giros y porcentajes globales de los comercios afectados a consecuencia del deslizamiento del cerro de La Cruz.	129
Tabla 19. Valores de nivel de vulnerabilidad por exposición de las manzanas...	130
Tabla 20. Tipo de giros y porcentajes globales de los comercios afectados a consecuencia del deslizamiento del Cerro Bola.	135
Tabla 21. Valores de nivel de vulnerabilidad por exposición de población a inundación.....	138
Tabla 22. Valores de nivel de vulnerabilidad por exposición de vivienda a inundación.....	140
Tabla 23. Tipo de giros y porcentajes globales de los comercios afectados a consecuencia de la inundación provocada por el deslizamiento del Cerro de La Cruz.....	143
Tabla 24. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por sensibilidad por condición de edad de la población de infantil (0-14 años) y adultos mayores (>65 años). Los	

rangos estandarizados se obtuvieron a partir del valor del porcentaje máximo de habitantes de ambos grupos por manzana, que para este casi fue de 61.11%.	145
Tabla 25. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por resiliencia por condición de edad de la población infantil por manzana (0-14 años).....	148
Tabla 26. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por resiliencia por condición de edad de la población de adultos mayores por manzana (mayores de 65 años).	149
Tabla 27. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por resiliencia por condición de derechohabencia respecto al porcentaje de personas por manzana.	151
Tabla 28. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por resiliencia por condición económica respecto al porcentaje de personas por manzana.	152
Tabla 29. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por exposición de la población, respecto al total de habitantes por manzana.	155
Tabla 30. Total de viviendas afectadas por exposición a inundación (Cerro Bola).	157
Tabla 31. Tipo de giros y porcentajes globales de los comercios afectados a consecuencia de la inundación provocada por el deslizamiento del Cerro Bola.	161
Tabla 32. .Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por sensibilidad por condición de edad de la población de infantil (0-14 años) y adultos mayores >65 años)....	162
Tabla 33. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por resiliencia por condición de edad de la población infantil por manzana (0-14 años).....	165
Tabla 34. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por resiliencia por condición de derechohabencia (Cerro Bola).....	168
Tabla 35. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa a resiliencia por condición económica (Cerro Bola).. ..	170

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN.

Hace cien años, la población mundial alcanzó 1,1 mil millones, y aproximadamente el 5% de esa población se asentaron en las ciudades. En la actualidad, el crecimiento demográfico de las poblaciones ha incrementado considerablemente, por ejemplo, entre 1950 y 1995, el número de ciudades con más de un millón de habitantes se multiplicó por seis en el tercer mundo (Helmore, 1996).

El crecimiento de los asentamientos humanos en áreas peligrosas están aumentando el impacto de los desastres naturales, tanto en el mundo desarrollado como en los países en vía de desarrollo (Rosenfeld, 1994; Alexander, 1995). Tal es el caso de México, en donde los movimientos gravitacionales de ladera o procesos de remoción en masa son los fenómenos más frecuentes, esto debido a la construcción de asentamientos humanos en zonas peligrosas. Esta problemática atrajo recientemente la atención de diversas instituciones gubernamentales y de investigación para identificar las causas de los mismos, tanto por sus características físicas como las de la sociedad que los enfrenta, configuradas a través del tiempo, y no en la simple ocurrencia del evento. (Serna, 2011).

Dentro de los peligros, por movimientos de ladera (García, 2005) los deslizamientos son considerados como el grupo más amplio (Glade, *et al.*, 2005). Estos eventos se dan de manera natural en la superficie de la tierra, no obstante sólo representan un papel importante en la evolución de las formas del paisaje y representan también un serio peligro. En algunos lugares como el reciente deslizamiento de Oso, Washington en el 2014 las muertes y daños económicos causados por deslizamientos de tierra son más grandes que las causadas por otros desastres naturales, como terremotos, erupciones volcánicas e inundaciones (Guzzetti, 2005)

Dentro de este marco, las ciencias de la tierra, y la geomorfología, desempeñan un papel relevante en la evaluación de las zonas de alto peligro de ocurrencia de deslizamientos y para ayudar a mitigar el riesgo asociado. Para lo cual se cuenta con herramientas para el manejo y análisis de datos espaciales es decir, Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)(Guzzeti, 1999) que a pesar de su desarrollo para el soporte de la reducción de peligros naturales, tienen limitaciones que deben ser consideradas a la hora de utilizarlos como apoyo para la prevención de desastres, particularmente hablando de las deficiencias en la disponibilidad de datos (Coppock, 1995). Estas herramientas pueden facilitar la aplicación de técnicas cuantitativas en la evaluación del peligro de deslizamiento y su cartografía, pero también es necesario conocer la evolución de un deslizamiento, específicamente la propagación de la ruptura en relación con la dirección de movimiento, para entonces estar en posibilidades de predecir un evento catastrófico (Mora, n.d). Una alternativa para esto puede ser el uso de nuevas tecnologías que se adecúen a las necesidades del monitoreo de este fenómeno, y una de las opciones es la de sensores inalámbricos o sistemas microelectromecánicos mejor conocidos como MEMS por sus siglas en inglés (Ramesh, 2009). Estos sistemas son potencialmente muy útiles para dicho fin por la posibilidad de organizarlos en una red, la cual a su vez está formada por nodos compuestos de sensores en donde la función principal es detectar y medir el movimiento del entorno donde están instalados (Márquez & Sandia, 2006a).

1.2 DESLIZAMIENTOS

El término deslizamiento o *landslide* es definido como aquel movimiento de una masa de roca, tierra o escombros en una ladera (Cruden, 1991; Copons & Tallada, 2009; Lugo Hubp, 2011; Chacón, 2003) que se desplaza vertiente pendiente abajo por el efecto de la gravedad. Sin embargo, en México existe una confusión entre este término que se deriva del vocablo anglosajón y la traducción que se le da en español (castellano), pues crea en algunas ocasiones confusión, debido a que en inglés el término *landslide* puede ser utilizado para referirse al fenómeno de

inestabilidad de laderas como a un tipo específico de deslizamiento de tierra (Alcántara, 2000).

1.2.1 Características de los deslizamientos

Los deslizamientos ocurren cuando la masa más externa de una ladera, se desliza, y se mueve como una unidad, pendiente abajo sobre una superficie (Hinojosa *et al.*, 2011), condicionada por la acción simultánea de una serie de factores que desde un punto de vista físico actúan sobre ella provocando como consecuencia desequilibrios existentes en las fuerzas que actúan sobre un volumen del terreno (Almaguer, 2006), donde se ven involucrados dos tipos de factores; internos y los externos, mismos que los definen y caracterizan.

Los Factores Internos, se dividen en:

Características Intrínsecas

Geológicas, en estos factores encontramos principalmente la naturaleza del material rocoso, como puede ser la debilidad del material, grado de intemperización, fracturas, fisuras, capacidad de infiltración, etc.

Características Extrínsecas

Morfológicas, se caracterizan por la relación estructura-ladera, pendiente topográfica y morfología de la ladera, dentro estos factores encontramos la erosión en los márgenes laterales, soportes tectónicos y volcánicos, erosión fluvial del pie de ladera, etc.

Factores Externos

- Actividades antropogénicas

Este tipo de actividades alteran el equilibrio de las laderas debido a las excavaciones, rellenos, pilas de almacenamiento de mineral o roca, pilas de

desechos (o relaves), construcción de edificios y otras estructuras pesados y por fugas de cañerías, desagües, canales y reservorios.

- Físicas

-La infiltración del agua, provoca el aumento de la presión intersticial, disminuyendo la resistencia entre los materiales.

-Las vibraciones, provocan aceleraciones en el terreno favoreciendo la rotura y la licuefacción, y pueden ser ocasionadas por eventos sísmicos naturales o inducidas por el hombre.

1.2.2 Tipos de deslizamientos

En la literatura científica y técnica existen numerosas clasificaciones de los movimientos de ladera. La primera clasificación de amplia aceptación fue la de Sharpe (1938). Con posterioridad aparecieron las de Varnes (1958, 1978), Nemcok et al. (1972), Hutchinson (1988), Sassa (1989) y más recientemente, las de Dikau et al. (1996) y Cruden y Varnes (1996).

Para este trabajo se utilizará una de las dos más aceptadas que es la de Varnes (1978). En la cual define a los deslizamientos como un desplazamiento ladera abajo de una masa de suelo o roca, que tiene lugar predominantemente sobre una o más superficies de rotura, o zonas relativamente delgadas con intensa deformación de cizalla. Elementos característicos de este tipo de movimiento son la presencia de superficies de rotura definidas y la preservación a grandes rasgos de la forma de la masa desplazada, y los divide en dos tipos: Rotacional y Traslacional. Ambos tipos de deslizamientos se encuentran diferenciados por el mecanismo de desplazamiento ladera abajo. A continuación se describen estos dos tipos de deslizamientos.

1.2.3.1 Deslizamientos Rotacionales

En este tipo de deslizamiento la superficie de ruptura es cóncava (Figura 1) ya que su centro de giro se encuentra trazado en el centro de gravedad del cuerpo del movimiento (Suarez, 1998) y posibilita que la masa conserve su estructura original (Cruden., Varnes, 1996c).

Las principales causas de este tipo de movimientos son la infiltración, el incremento de la inclinación de la pendiente y los relictos de las estructuras en suelos residuales (Hunt, 2007)

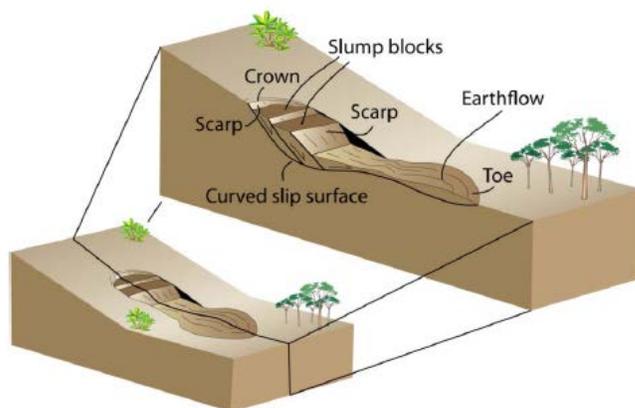


Figura 1. Deslizamiento rotacional (Girty, 2009).

1.2.3.2 Deslizamientos Traslacionales

En este deslizamiento el movimiento inicia con una rotura por cizalla, que se produce a lo largo de una superficie (Corominas, 1989 Azañón, 2005) la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada (Figura 2) y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (Suárez, 1998)

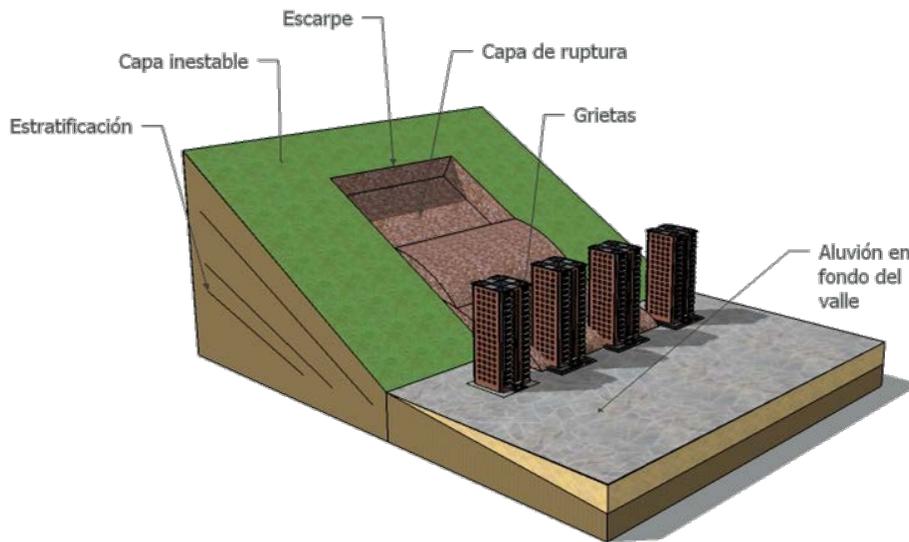


Figura 2. Deslizamiento Traslacional, tomado de Girty, (2009).

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Aun cuando se han realizado estudios en la región sobre el problema de los deslizamientos (Morales *et al*, 2007), sus resultados no se han traducido en acciones para la implementación de programas de prevención y alerta a la población de la Ciudad de Tlapa, específicamente en lo relativo al riesgo de deslizamiento de los cerros de La Cruz y Bola, entre otros.

Una parte del problema es el desconocimiento de los ritmos de movimiento y alcance de las masas o volúmenes implicados hacia el Río y/o los predios urbanos.

Es por esto último que se propuso realizar un estudio exploratorio para probar tecnologías del tipo MEMS, específicamente mediante acelerómetros, magnetómetros y giroscopios, en el monitoreo de las deformaciones del Cerro de La Cruz.

Dado el tiempo para la realizaci3n de la tesis, es necesario mencionar que es un estudio precursor, exploratorio, y no se pretende que los resultados obtenidos sean concluyentes, ya que este trabajo forma parte de un proyecto de largo plazo orientado hacia el uso de la tecnologa de MEMS en diversas regiones del pa3s que presentan este tipo de problemática.

1.3 JUSTIFICACI3N

Los deslizamientos constituyen una amenaza importante ya que éstos, en combinaci3n con la vulnerabilidad de las poblaciones expuestas, determinan el riesgo y han causado a lo largo de la historia un considerable n3mero de desastres en diversas partes del mundo, incluyendo M3xico (Alcántara, Murillo, 2008).

El relieve presente en M3xico en conjunto con determinados factores como lo son las fuertes precipitaciones y los sismos favorece la ocurrencia de procesos de remoci3n en masa.

En la regi3n de la Montaña del estado de Guerrero existe una importante presencia de deslizamientos, por lo que este estudio pretende contribuir al conocimiento sobre la exposici3n de la ciudad de Tlapa de Comonfort a los deslizamientos de los Cerros de La Cruz y Bola, realizando un monitoreo por medio de Sistemas Microelectromecánicos (MEMS). Tomando en cuenta que las tecnologas que se utilizaron en este trabajo son nuevas en M3xico, los resultados obtenidos son experimentales, pero de probarse útil, esta tecnologa podr3a tener un gran impacto en la prevenci3n del riesgo por deslizamientos en nuestro pa3s. Conocer la manera en que est3 ocurriendo la deformaci3n de los Cerros de La Cruz y Bola, permitir3a tener una idea aproximada del nivel de peligro que estos deslizamientos ofrecen para la poblaci3n.

1.4 ANTECEDENTES

Los deslizamientos del tipo de los que se describen en este trabajo, han sido estudiados desde hace tiempo no sólo en el estado de Guerrero, sino en todo México, sin embargo, muy pocos de estos estudios son dados a conocer, y específicamente en Guerrero no se han implementado tecnologías para el monitoreo de estos, siendo éste uno de los estados con un alto número de eventos por año (sólo tomando en cuenta los documentados y dados a conocer por los medios de comunicación). A continuación en los siguientes párrafos se hace mención, de algunos estudios y proyectos con respecto a esta problemática y a las tecnologías que implementan circuitos integrados, esto se presentan desde un panorama a nivel internacional.

Takayama., *et al.* (2006) en su investigación describen la construcción de una red autónoma de nodos de detección para recobrar los daños por desastres deslizamiento de tierra y transmitir datos urgentes con efectividad.

En un estudio realizado por Danisch *et al.*, (2008) se hace énfasis en el uso de un sistema geodésico de monitoreo de las deformaciones del terreno, en el cual los sensores conocidos como MEMS son apoyados por otros sistemas inalámbricos, para obtener mediciones precisas.

Garich (2007) realizó un trabajo de tesis titulado “Wireless, Automated Monitoring for Potential Landslide Hazards” en el cual describe los esfuerzos de investigación hacia el desarrollo de un sensor inalámbrico (nodo), que se puede emplear en redes de sensores inalámbricos duraderos y expandibles para el monitoreo remoto de las condiciones del suelo en zonas propicias a las fallas de estabilidad de taludes, así como también habla de la importancia de tener un monitoreo en tiempo real sin que existan obstáculos como la recarga o cambio de baterías del dispositivo.

Jungwoo (2009) realizo una investigacion sobre el monitoreo en tiempo real de deslizamientos, usando redes de sensores inalambricos, donde el objetivo principal consistio en el desarrollo de una red con el fin de predecir la aparicion de deslizamientos de tierra, por medio de inclinometros posicionados sobre la superficie del deslizamiento y cuya funcion fue registrar cambios de orientacion.

Uchimura *et al.*, (2009) realizaron pruebas de laboratorio para generar dos escenarios distintos de fracturas, en el que simularon la lluvia como el factor desencadenante principal y pusieron a prueba la efectividad de los Sistemas Microelectromecanicos como metodo de monitoreo simple de deslizamientos, e hicieron una comparacion de la funcionalidad de los inclinometros para resaltar las ventajas de usar MEMS en este campo.

Tric, *et al.* (2010) realizaron un estudio acerca de la gran deformacion inducida por la gravedad sobre el deslizamiento de La Clapiere en el poblado de Saint Etienne de Tinée, Francia, utilizando un metodo con enfoque numerico y geofisico, donde se realizaron dos experimentos para determinar los efectos de la fuerza gravitacional sobre el comportamiento mecanico de La Clapiere.

Lebourg, *et al.*(2010) realizaron un analisis de los factores desencadenantes de deslizamientos por un estudio de campo eléctrico y un enfoque estadístico multidimensional, donde se genero una imagen temporal de la circulacion del agua en el deslizamiento en la ciudad de Venice por medio de una tomografia de resistividad eléctrica (ERT) la cual fue conducida para identificar espacial y temporalmente la relacion entre las lluvias, las infiltraciones consecutivas del agua en un movimiento en masa y la resistividad inducida.

Antecedentes de deslizamientos en la región

Existen antecedentes de algunos mega-deslizamientos en la región de La Montaña, GRO. (Morales, 2007), para ser precisos una región que abarca desde (Oaxaca hasta la región de la Montaña y parte de la región Centro), donde afloran

yesos Tlaltepexi en el extremo nororiental, colindando con el estado de Oaxaca y el norte y sur de Tlapa (Consejo de Recursos Minerales, 1999), la región en la que se localizan estos afloramientos y que abarcan desde el estado de Oaxaca hasta la región de la montaña de Guerrero denominada Cuenca Evaporítica de Huamuxtitlán y formación de yesos Tlaltepexi (nombre dado por la comunidad de Tlaltepexi, Oaxaca) (Erben, 1956). En relación con los eventos ocurridos en la región centro donde se localiza la localidad de la Esperanza del municipio de Chilapa de Álvarez, se tiene como dato que es a región era un depósito de carbonatos pues en una interpretación visual realizada con ayuda de imágenes de Google Earth se pudieron detectar estos deslizamiento complejos en más de un punto por ejemplo. El mega deslizamiento de Copanatoyac (Figura 3), El deslizamiento de Axoxuca (Figura 4), Huamuxtitlán (Figura 5), Tlapa (Figura 6), cerro la Esperanza (Figura 7), Ahuatepec (figura 8) también podemos encontrar los deslizamientos de Tlahuapa (Figura 9), Otate (Figura 10) y Aquilpa (Figura 11). En el ejemplo de Huamuxtitlán tenemos que la localidad se encuentra asentada sobre el depósito que dejó el deslizamiento. Cabe mencionar que la mayoría de los deslizamientos antes mencionados se encuentran inactivos.

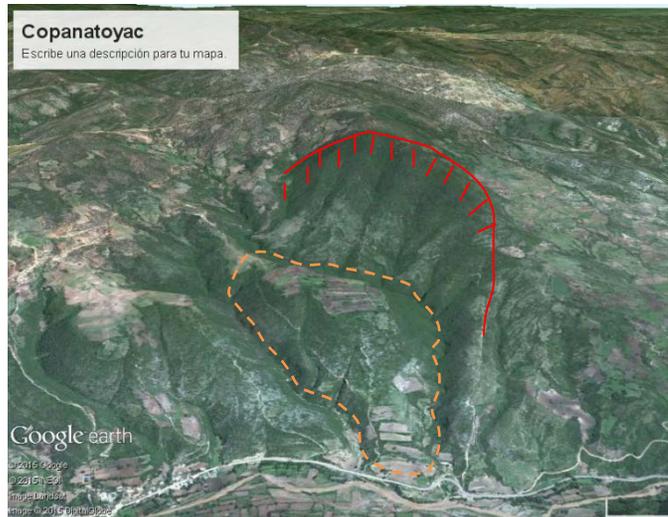


Figura 3. Deslizamiento Copanatoyac

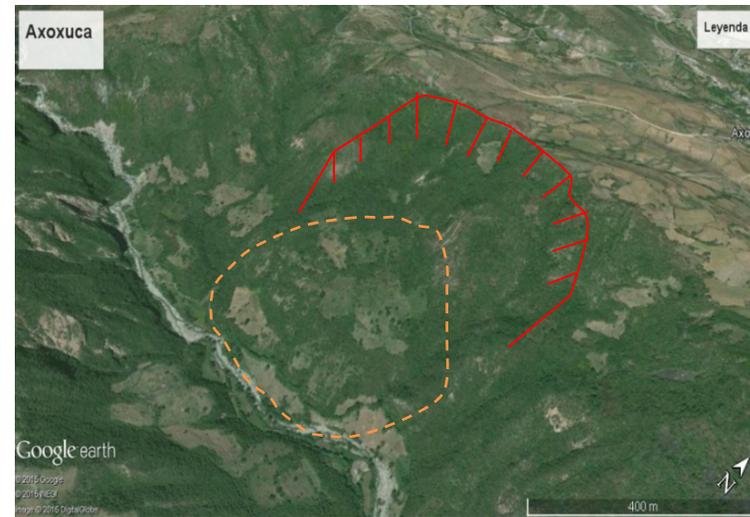


Figura 4. Deslizamiento Axoxuca

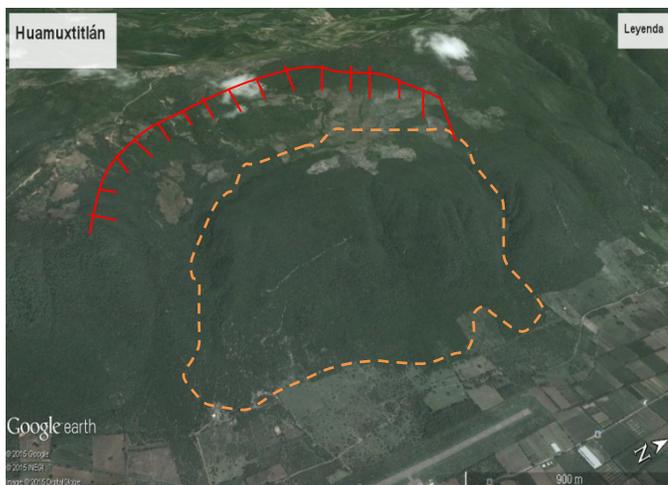


Figura 5. Deslizamiento de Huamuxtitlán



Figura 6. Deslizamiento Tlapa de Comonfort



Figura 7. Deslizamiento La Esperanza

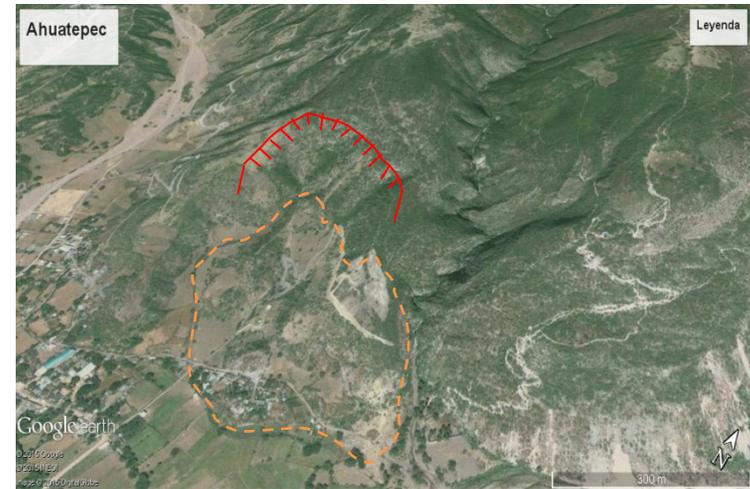


Figura 8. Deslizamiento Ahuatepec



Figura 9. Deslizamiento Tlahuapa

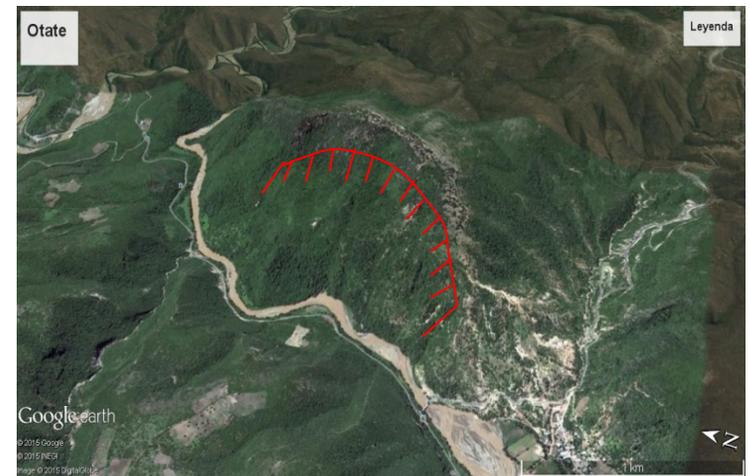


Figura 10. Deslizamiento Otate



Figura 11. Deslizamiento Aquilpa

1.5. OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

- Obtener informaci3n espaciotemporal de la deformaci3n de los cerros de La Cruz y Bola ubicados frente a la ciudad de Tlapa de Comonfort.

1.5.2 Objetivos particulares

- Explorar la utilidad de la tecnología de los MEMS para el monitoreo de las deformaciones del terreno.
- Determinar las características sísmicas y de lluvia como detonadores de eventos de deslizamiento.
- Evaluar la vulnerabilidad de la poblaci3n, infraestructura y actividades económicas de la ciudad, por exposici3n a los deslizamientos.
- Evaluar la vulnerabilidad por exposici3n, sensibilidad y resiliencia de la poblaci3n a inundaci3n.

1.5.3 Preguntas de investigaci3n

1. ¿Es posible monitorear deformaciones del terreno utilizando Sistemas MicroElectroMecánicos (MEMS) para este tipo de deslizamientos?
2. ¿Existen características sísmicas y de lluvia en la regi3n asociadas a las deformaciones observadas?
3. ¿Qué tan vulnerables son la poblaci3n, la infraestructura y las actividades económicas por eventos de peligro en este sector?

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

2.1 MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

Este proyecto se abordó desde una perspectiva geográfica la cual implicó la interacción entre sociedad y el ambiente ante la vulnerabilidad, el peligro y el riesgo.

2.1.1 Riesgo

Existen definiciones diversificadas acerca de lo que se percibe como riesgo. Sin embargo para este caso de estudio se abordará desde un enfoque geográfico que atienda a sus dos componentes principales como son: vulnerabilidad y peligro, los cuales interactúan con la sociedad y su entorno.

El riesgo corresponde al potencial de pérdidas que pueden ocurrir al sujeto o sistema expuesto resultado de la relación entre la amenaza y la vulnerabilidad (UNDRO, 1979). Este puede expresarse también de forma matemática como la probabilidad de exceder de un nivel de consecuencias económicas, sociales, o ambientales en un cierto tipo y durante un cierto periodo de tiempo (Cardona, 2001), como consecuencia de su propia naturaleza o intensidad (Protección Civil y Emergencias de España, 2013).

Según Beck, (2006) en una definición más orientada a lo social menciona que el riesgo es el enfoque moderno de la previsión y control de las consecuencias futuras de la acción humana.

En tanto la UNESCO, (2011) define al riesgo como la suma de las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre u otro evento adverso en términos de vidas, condiciones de salud, medios de sustento, bienes y servicios en una comunidad o sociedad en particular, ya no atendiendo únicamente al elemento social, sino también involucrando a su entorno socio-económico.

2.1.2 Vulnerabilidad

El concepto de vulnerabilidad ha sido una herramienta para la descripción de elementos susceptibles a sufrir daños en ambos sistemas, físico y social (Adger, 2005). Sin embargo, este término tiene diversas connotaciones que diversifican la definición dependiendo de la orientación y perspectiva de la investigación (Dow, 1992).

A través de los años diversos autores han expresado sus ideas sobre la concepción que tienen acerca de la vulnerabilidad y de los elementos que la componen, siendo White (1974) quien la definió como el grado al cual un sistema, subsistema, o componente del sistema está propenso a experimentar daño debido a su exposición a una amenaza, perturbación o estrés.

Otra línea de especialistas que sobre el transcurso de los años han traído consigo nuevos conceptos, en los cuales se explora el aspecto social poniendo énfasis en las causas que originan la vulnerabilidad social. Estas nociones se han originado a partir de la experiencia obtenida de los grupos sociales, ya sea sobre el individuo, sistema o unidad que se haya visto involucrado y haya sufrido pérdidas humanas (Blaikie *et al.*, 2004; Cardona, 2004; Chardón, *et al.*, 2012; Sobiech, 2013)

Otros especialistas consideran la vulnerabilidad como la intersección de la naturaleza y la sociedad, demostrando la mutualidad que constituye una de la otra, por ejemplo los desastres o eventos naturales que emergen como resultado de las interacciones entre los humanos y el ambiente (Smith, 2004; Bankoff, 2001). En tanto autores como Kelly y Adger, (2009) analizan la construcción social de la vulnerabilidad desde un aspecto multidimensional donde cómo los diferentes procesos socio-económicos y políticos pueden ser influyentes en la disminución de los niveles de vulnerabilidad.

Turner *et al.*, (2003) conciben una visión más general a partir de los modelos donde considera la integración del sistema humano-ambiente y la capacidad de afectación a diversas escalas espacio-temporales.

Otras líneas definen vulnerabilidad de acuerdo con experiencias que han sido documentadas y que han tenido un impacto en la sociedad, poniendo especial atención en las causas que provocan los patrones de vulnerabilidad.

La vulnerabilidad corresponde a la probabilidad de que una comunidad, expuesta a una amenaza natural o antrópica según el grado de fragilidad de sus elementos (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta, desarrollo político institucional entre otros), pueda sufrir daños humanos y materiales en el momento del impacto del fenómeno. (Chardon, y Leonardo, 2002).

Por otro lado, algunos autores expresan su punto de vista sobre la vulnerabilidad dándole un enfoque adaptativo, sobre el cual prevalece como idea general la capacidad de un grupo social o características de este para hacer frente, resistir y recuperarse del impacto de algún fenómeno y/o evento extremo (Wilches-Chaux, 1998; Piers, 1996)

Blaikie et al., (2004). Menciona que la vulnerabilidad no es sólo es aquel objeto o determinado sitio que en sentido común vemos que se encuentra propenso o susceptible a sufrir un daño, sino que lo visualiza como las características de una persona o grupo y la situación que influencia su capacidad para gestionar las emergencias y hacer frente, resistir y recuperarse del impacto de un peligro natural (un evento natural extremo o proceso).

Para Morales., (2007) la vulnerabilidad puede ser expresada como la posibilidad o probabilidad de que el sistema sociedad-naturaleza, o cualquiera de sus componentes, sufra daño derivado de la exposición al peligro, de la sensibilidad de los componentes del sistema frente a la ocurrencia del peligro, y de la capacidad del sistema o sus componentes para recobrase o adaptarse después de que han ocurrido los efectos del peligro.

Según la definición de la UNESCO y la UNDRO es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de

un evento desastroso, expresada en una escala desde 0 sin daño a 1 o pérdida total.

Maskrey (1993) enlista las siguientes dimensiones de vulnerabilidad

- Natural. Este tipo de vulnerabilidad se determina por los límites ambientales dentro de los cuales se posibilita la vida, y por las exigencias internas de su propio organismo.
- Física. Hace referencia especialmente a la ubicación de los asentamientos humanos en zonas que representan un riesgo, y a las deficiencias de sus estructuras físicas (construcciones para "absorber" los efectos de esos riesgos).
- Económica. Sobre este aspecto Maskrey, señala que en la sociedad los más deprimidos económicamente tienden a ser más vulnerables ante cualquier evento adverso.
- Social. Se refiere al nivel de afinidad interna que posee una comunidad.
- Política. Constituye el valor recíproco del nivel de autonomía que posee una comunidad para la toma de las decisiones que la afectan.
- Técnica. Hace referencia al diseño y construcción de estructuras para mitigar cualquier evento que represente una amenaza.
- Ideológica. La respuesta ante una amenaza de desastre, depende de la concepción que la población posea del mundo.
- Cultural. La forma de reaccionar de una comunidad ante un desastre depende de los patrones culturales y los valores de cooperación.
- Educativa. Representa la información respecto a los escenarios de riesgo.
- Ecológica. La destrucción de los recursos del ambiente, tenía necesariamente que conducir a unos ecosistemas altamente riesgosos para las comunidades que los explotan o habitan.
- Institucional. Se refiere a la preparación que ha adquirido la comunidad a través de los organismos públicos y de socorro, para enfrentar una situación de desastre.

- Sujeto de vulnerabilidad: Son aquellas entidades del medio socio-ambiental que son propensas a sufrir afectaciones por una perturbación o evento externo (Morales, 2007)
- Resiliencia: Capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse, y recuperarse de los efectos de manera oportuna y eficaz (EIRD, 2009).
- Sensibilidad: Grado de resistencia ante cualquier evento de peligro.
- Exposición: Condición espacial que presentan personas, estructuras, sistemas o algunos otros elemento con respecto a su localización en zonas con algún nivel de peligro.

2.1.3 Peligro

De acuerdo a la definición de la UNDRP (1979) el peligro es definido como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado.

2.1.4 Los Sistemas MicroElectroMecánicos y su función

Los Sistemas MicroElectroMecánicos (MEMS) son dispositivos pequeños especializados, que integran elementos electrónicos y mecánicos (Mahalik, 2007) que actúan como sensores o actuadores para habilitar funciones en un nivel superior dentro de la estructura de un sistema más complejo (UNAM.,n.d). Sus dimensiones físicas pueden variar desde muy por debajo de una micra en el extremo inferior del espectro de dimensiones, hasta varios milímetros. Asimismo los dispositivos de MEMS pueden variar de estructuras relativamente simples que no tienen elementos móviles, a los sistemas electromecánicos extremadamente complejos con múltiples elementos móviles bajo el control de la microelectrónica integrada (CMM, 2012).Fueron desarrollados en los años 70s como sensores de medición de la presión, temperatura, acelerómetros, cromatógrafos de gas, entre otros dispositivos (Rebeiz y Guan-Leng, 2003), y han tenido un importante impacto en muchas disciplinas (por ejemplo, la biología, la medicina, la óptica, la industria

aeroespacial, e ingenieria mecánica y eléctrica) (Chih-Ming y Yu-Chong, 1998), debido a que ofrecen un menor consumo de potencia, alto desempeño, peso reducido y un costo más bajo que los dispositivos utilizados actualmente en los diferentes campos ya mencionados. Sus funciones son esencialmente la percepción, el procesado de datos (Márquez y Sandia, 2006b), la fácil comunicación de larga distancia a diversos puntos, la mejora de la precisión global, y la capacidad de control en tiempo real (Kotta, 2011.).

Sus usos son muy variables, pueden ir desde aplicaciones emergentes y hasta futuras, las cuales incluyen por ejemplo, sensores de presión para neumáticos, y comunicaciones inalámbricas, componentes óptica, dispositivos de manejo y procesamiento de fluidos para microanálisis químico, diagnósticos médicos y suministro automático de medicamentos. Así como también en la geología ambiental para el monitoreo de eventos naturales de riesgo, tales como los deslizamientos, así como de otras numerosas aplicaciones en diversos campos.

Los MEMS pueden realizar cinco tipos de mediciones (Figura) en las cuales se incluyen la aceleración (movimiento de traslación, posición y orientación), vibración, choque, inclinación y rotación, los cuales son medidos por algún dispositivo (MEMS) diseñado para específicamente para la realización de la medición que se requiera.



Figura 12. Tipos de mediciones por MEMS (Analog Devices, Inc, 2014a).

A continuación se describen los acelerómetros, giróscopos y magnetómetros

2.1.6.1 Tipos de sistemas Microelectromecánicos

Acelerómetros

Los acelerómetros son sensores que miden como su nombre lo indica la aceleración lineal (cambio en la velocidad) de un objeto, medida en Fuerzas G, que es la unidad de la fuerza que la gravedad ejerce sobre un objeto en la tierra (un g es igual a $9,8 \text{ m / s}^2$), a lo largo de 3 ejes perpendiculares de movimiento. Su función en específico es medir el movimiento sobre un plano axial con 3 DoF (Degrees of Freedom, por sus siglas en Inglés) es decir tienen la capacidad de hacer mediciones sobre los planos X, Y y Z (Analog Devices, Inc, 2014a).

Aplicaciones y funciones de los acelerómetros:

- Equipo de salud y el seguimiento de la aptitud
- Dispositivos de control remoto y de punto
- Reconocimiento de gestos para las funciones de entrada o control de datos
- Telemática / gestión de flotas
- Industrial y la instrumentación médica
- Electrodomésticos de consumo
-

Giróscopos

Un giróscopo es un sensor de velocidad de rotación a lo largo de los ejes de balanceo (Figura 4), cabeceo y guiñada (Roll, Pitch, Yaw) es decir movimientos rotatorios sobre los planos axiales X, Y y Z con otros 3 DoF (Analog Devices, Inc, 2014b).

Aplicaciones de los giróscopos:

Los giroscopios se utilizan cuando se quiere saber qué tan rápido es un giro o cuando gira algo.

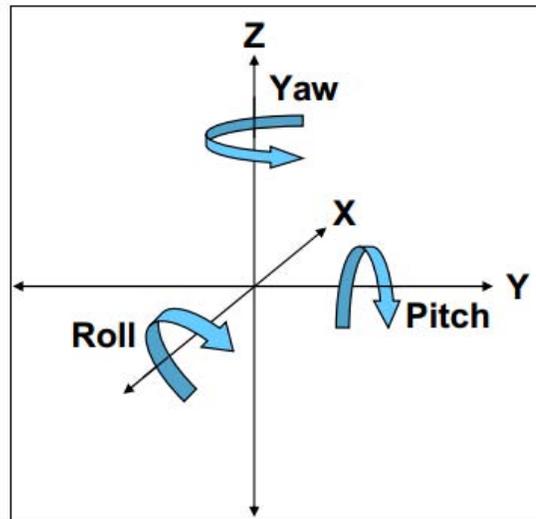


Figura 13. Los tres tipos de movimientos rotatorios sobre los planos axiales X, Y y Z.

Magnetómetros

Son instrumentos que determinan la dirección de los campos magnéticos tomando como referencia el norte magnético de la tierra a lo largo de tres ejes perpendiculares (X, Y, Z) (Innoventions, 2014).

Las lecturas de los magnetómetros se reportan en unidades de micro Tesla (μT) que es la unidad de inducción magnética (o densidad de flujo magnético) y tiene un valor de 10^{-6} T lo que equivale a 1 000 000 microteslas por unidad de Tesla.

Los magnetómetros tienen una muy amplia gama de aplicaciones, incluyendo la localización de objetos tales como los submarinos, barcos hundidos, los peligros para tuneladoras, los peligros de las minas de carbón, las municiones sin estallar, tambores de desechos tóxicos, así como una amplia gama de depósitos minerales y estructuras geológicas. También tienen aplicaciones en diversos campos como la medicina, por ejemplo en el monitoreo de latidos del corazón; en la milicia para detectar el posicionamiento de sistemas de armas, y en la ciencias de la tierra con

la predicción meteorológica, la tectónica de placas y la propagación de ondas de radio (Watson Industries, Inc. 2012).

2.1.7 El monitoreo de deslizamientos por medio de MEMS

La velocidad y el sentido en que se desplaza un deslizamiento son datos para realizar una evaluación del peligro, y donde los Sistemas Microelectromecánicos (MEMS) a pesar de no s er diseñados exclusivamente para el monitoreo de eventos geológicos pueden representar una opción como herramienta de monitoreo.

El motivo por el cual se deben de tomar medidas para la prevención de los riesgos por deslizamiento es que, debido al progresivo desarrollo de las zonas urbanas áreas e infraestructura, más y más personas suelen instalarse en sitios que son o se convierten en áreas de riesgo por los movimientos gravitacionales de masas. Esta situación se está complicando debido a la necesidad de los grupos humanos a tener un espacio donde habitar y poder ejercer sus actividades (Fernandez-Steeger et al, 2009). Por esta razón existe una mayor demanda en el monitoreo de peligros de esta índole, y las redes de sensores inalámbricos pueden proveer una importante contribución para alcanzar este objetivo (Arnhardt et al.,2007). Dispositivos como los son los Sistemas Microelectromecánicos (MEMS) se vuelven como una al ternativa factible debido a sus componentes micro-mecanizados, que, gracias a la fibra óptica y la matriz de sensores con la que cuentan, son capaces de medir simultáneamente la aceleración del suelo 2D y la deformación permanente del terreno en 3D a decenas de metros de profundidad (Abdoun, et, al. 2005)

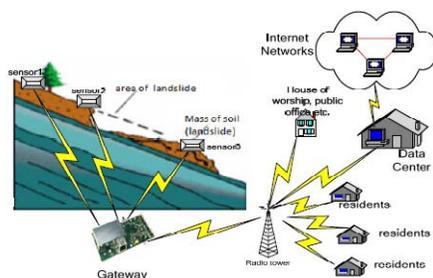


Figura14. Medición y monitoreo en tiempo real de deslizamientos (Kotta, 2011).

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 LOCALIZACIÓN

La ciudad de Tlapa de Comonfort (homónima del municipio) es considerada el centro donde se concentra el comercio y la actividad política de la región de La Montaña, pues constituye el polo económico y social de los pueblos indígenas (Barrera, 2006). Se localiza (Figura 6) aproximadamente a 176 Km al Este de Chilpancingo sobre la carretera federal no. 93 (Domínguez, Ramírez, 2005), entre las coordenadas 17°32'29.60" latitud Norte y 98°34'49.65" longitud Oeste, a una altitud promedio de 1100 msnm.

Fisiográficamente se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur. Actualmente cuenta con 44,707 habitantes (INEGI, 2010)

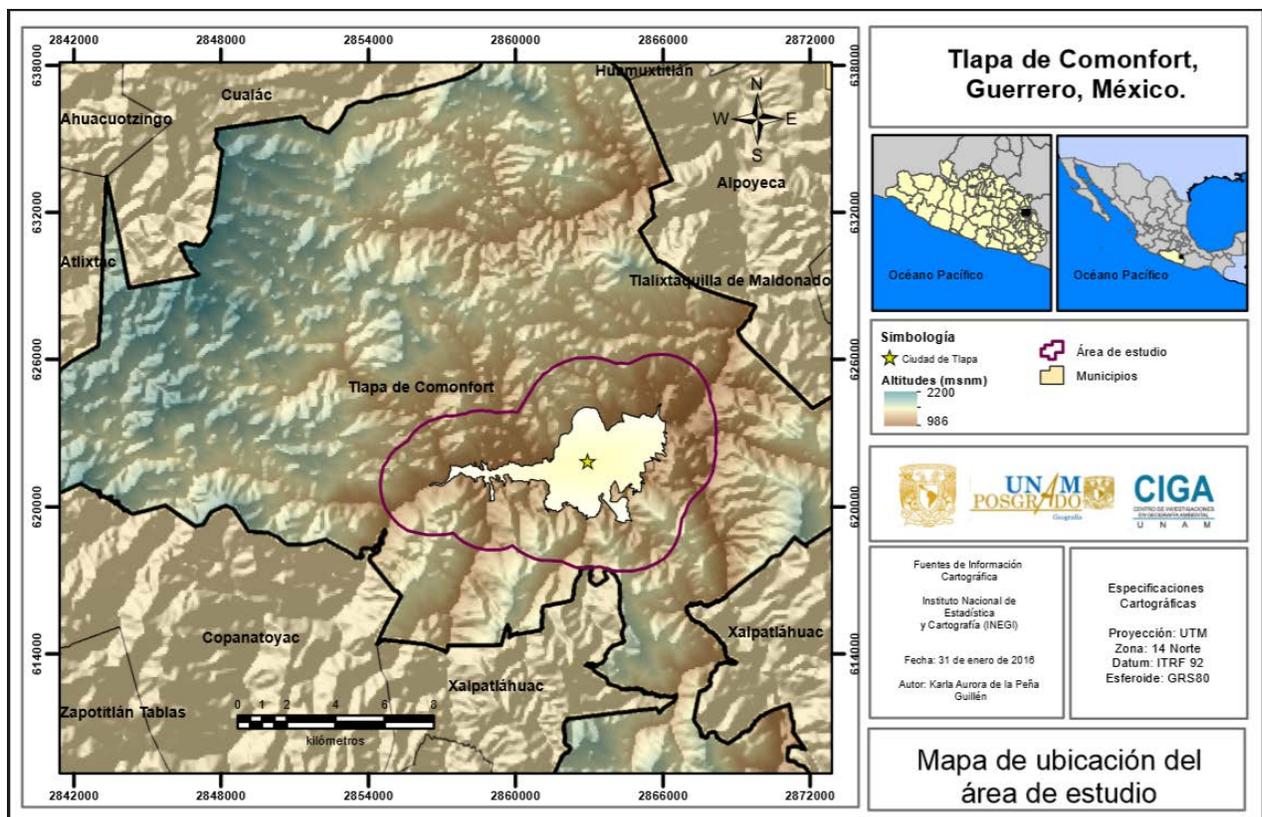


Figura15. Localización del área de estudio

3.2 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para su realización se tomó la información del Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI) para la descripción del entorno local, incluyendo la litología, el clima, edafología e hidrología.

3.2.1 Geología

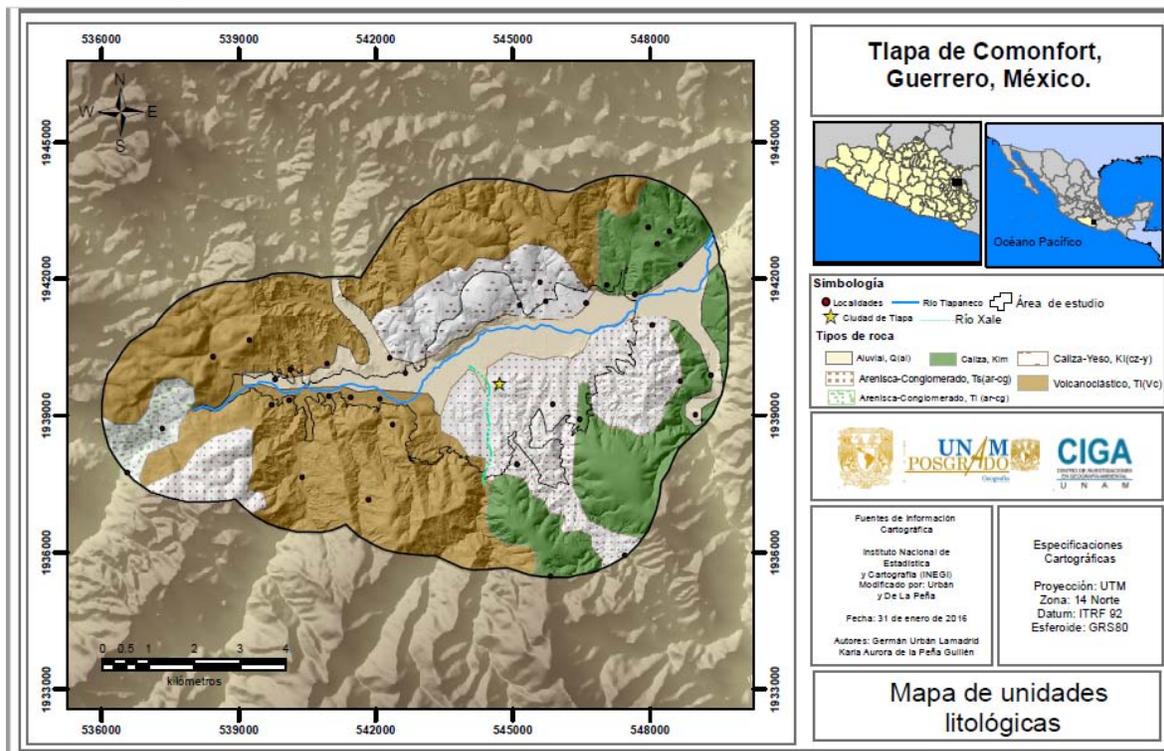


Figura 16. Geología de la zona de estudio

El origen geológico de la zona se debe a procesos sedimentarios que se originaron a partir del Cretácico inferior medio, es decir hace aproximadamente entre 90 y 115 millones de años. La geología del sitio se encuentra dominada por domos de yeso relacionados con eventos de evaporitas, las cuales se formaron debido a la presencia de cuerpos de agua que en su momento fueron sometidos a condiciones de aridez.

Tipo	Clave	Material	Superficie %
Arenisca-Conglomerado	Ti(ar-cg)	Sedimentaria	2.44
Arenisca-Conglomerado	Ts(ar-cg)	Sedimentaria	17.59
Caliza	Ki(cz)	Sedimentaria	16.62
Volcanoclástico	Ti(Vc)	Ígnea extrusiva	35.66
Caliza-Yeso	Ki(cz-y)	Sedimentaria	16.73
Aluvial	Q(al)	N/A	10

Tabla 1. Distribución de unidades geológicas del área

El área constituida por (Tabla 1) tipos de roca como: areniscas- conglomerados Ti (ar-cg) de origen sedimentario del Cenozoico y Calizas de origen sedimentario del Mesozoico, Cretácico Inferior.

Hay presencia también de y esos cuyo origen es de formación Tlaltepexi) del cretácico inferior, así como también de depósitos aluviales (Q(al)) y en parte se pueden encontrar rellenos volcánicos de roca ígnea extrusiva pertenecientes al cenozoico, sobre los cuales la ciudad de Tlapa se encuentra asentada.

3.2.2 Climatología

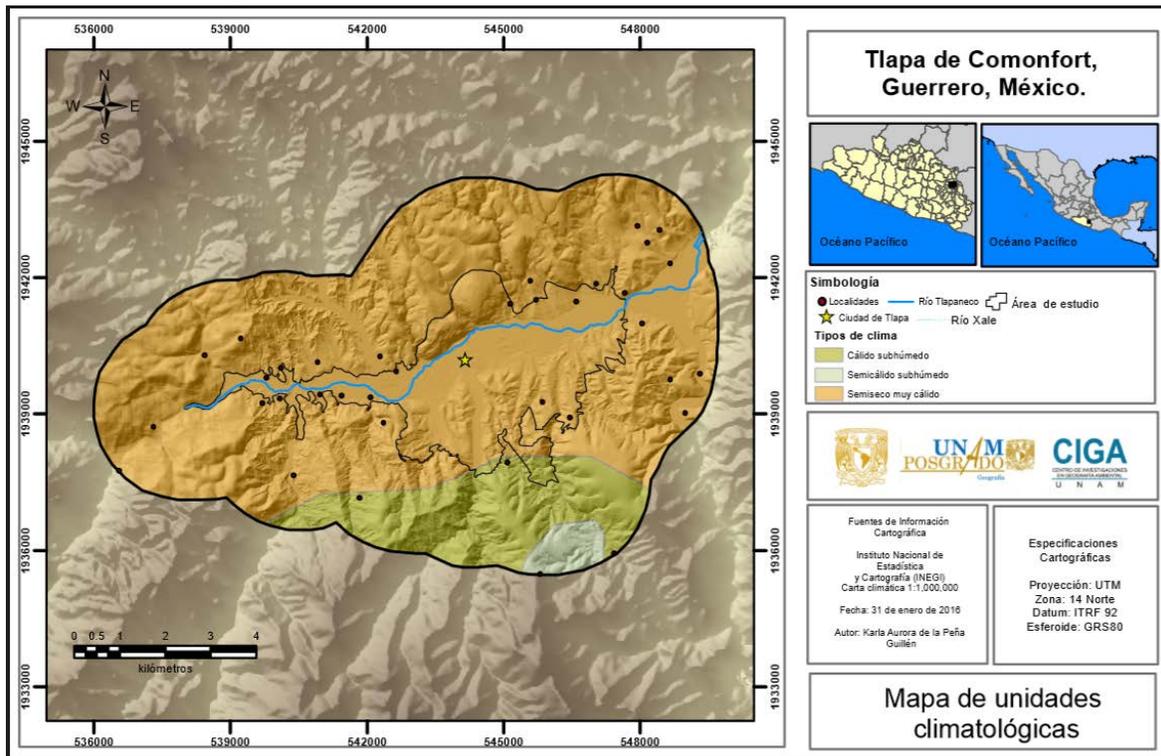


Figura17. Tipos de clima de la zona de estudio

El clima que prevalece en el área de estudio, según la clasificación climática de Köppen, modificada por Enriqueta García (1964), son (Figura 2): BS1 (h')w(w), que corresponde a un clima semiseco muy cálido con lluvias promedio de 628.32 mm por año. En verano, siendo está la estación más lluviosa que comprende los meses a partir del 21 de junio al 20 de septiembre (García, 1964). La temperatura media anual es de 24°C, oscila desde 21.8 a 27.9°C. Es el clima con mayor presencia dentro del área de estudio abarcando el 84.06%, también se tiene uno de tipo Aw0(w), que corresponde a un clima cálido subhúmedo y el cual es considerado el más seco de los subhúmedos, tiene un régimen de lluvias en verano con un muy bajo porcentaje de lluvia invernal y sequía intraestival, tiene una distribución del 14.03% del área de estudio Por último existe un tercer tipo de clima que es de tipo A(C)w0(w), que corresponde a un clima de tipo semicálido subhúmedo que se caracteriza por tener precipitación media anual de más de 700

mm y la temperatura media anual es mayor a 20°C. La mayor incidencia de lluvias se registra en los meses de junio y septiembre, ambos con un mismo rango que fluctúa entre los 160 y 170 mm, con una distribución del 1.91% del área total de estudio.

Tipos de clima en el área de estudio		
Clima	Caracterización	Superficie en el área de estudio %
BS1 (h')w(w)	Semiseco muy Cálido,	84.06%
Aw0(w)	Cálido Subhúmedo	14.03%
A(C)w0(w)	Semicálido Subhúmedo	1.91%

Tabla 2. Distribución de unidades climáticas del área.

3.2.3 Hidrología

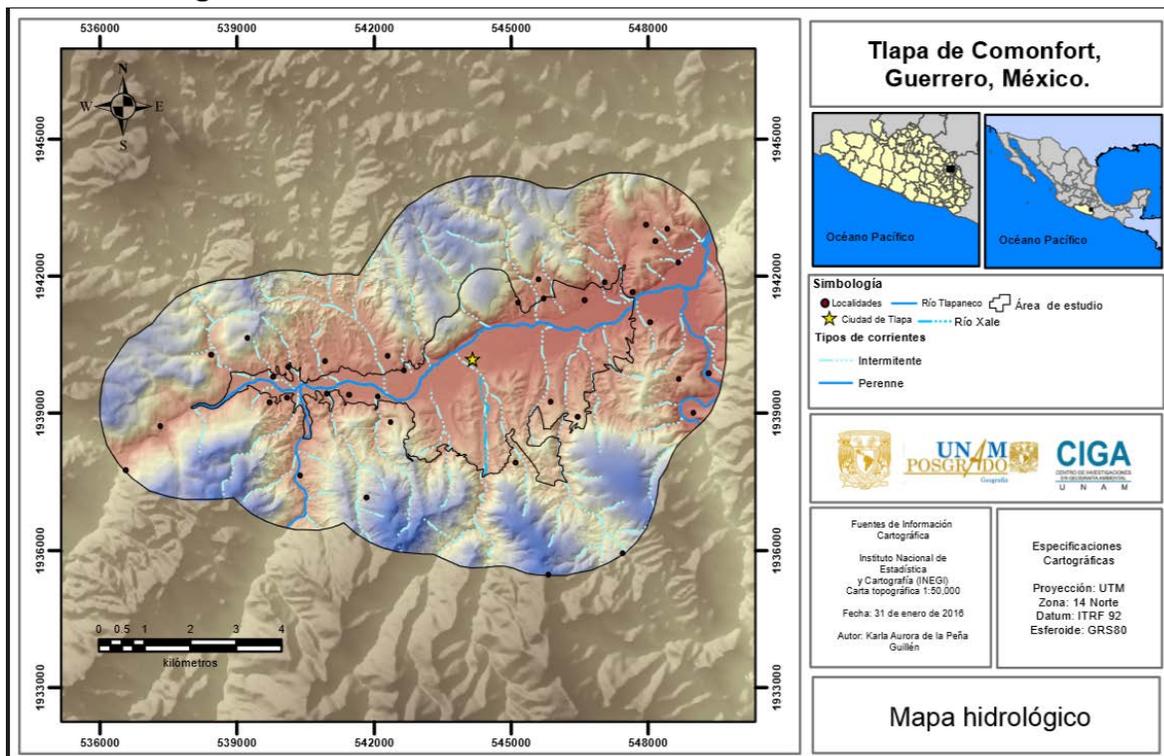


Figura18. Hidrología de la zona de estudio

Tlapa se encuentra dentro de la Región Hidrográfica del Balsas a la cual pertenece la subcuenca del Río Tlapaneco. La cuenca del Tlapaneco tiene un área de 2390.02 Km² aproximadamente y se caracteriza por ser de tipo exorreica.

La ciudad se encuentra edificada sobre un abanico aluvial activo que se formó a consecuencia de los depósitos del Río Xale (Morales et al. 2007c). Este mismo Río divide a la ciudad en dos partes (Figura 18). El Río Xale desemboca en el Río Tlapaneco, el cual es el límite Norte de la ciudad (Pacheco, 2009a).

3.2.4. Geomorfología

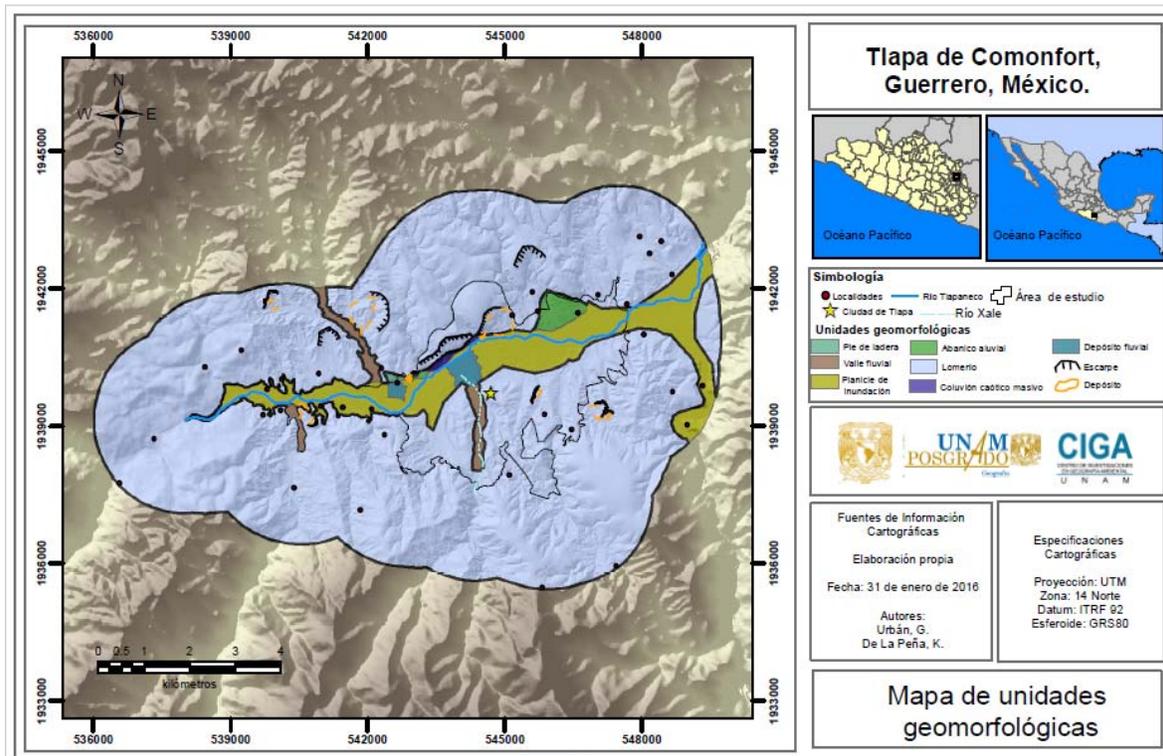


Figura19. Geomorfología del área de estudio

La geomorfología se encuentra caracterizada por 9 unidades geomorfológicas (Figura 19), de las que los lomeríos son los de mayor predominancia, y se caracterizan por ser un tipo de relieve originado por la disección de una planicie inclinada o bien por la nivelación de montañas, también encontramos otra unidades tal es el caso de:

- coluvión caótico masivo, caracterizado por ser de detritos rocosos a causa del intemperismo y desplazado pendiente abajo en forma de bloque por la acción de la fuerza de gravedad;
- pie de ladera, caracterizado principalmente por ser la superficie marginal a las laderas de las que se distinguen por ser una porción de la superficie que se encuentra inclinada y que delimita formas positivas o negativas;

- c) Dos valles fluviales que han sido originados por la acción de las aguas de escurrimiento, sobre la superficie del terreno;
- d) Dos Depósito aluviales formados por la acción conjunta de corrientes fluviales y el lavado de laderas;
- e) Una Planicie de inundación que es esa porción del fondo de un valle que puede llegar a ser cubierta por aguas durante avenidas;
- f) Por último tenemos dos abanicos aluviales, que se ha formado por la acumulación de sedimentos que alguna corriente depositó hacia la superficie plana o de poca inclinación al frente, expandiéndose y producto de algún cambio brusco de pendiente (Lugo-Hubp, 2011).

3.2.5. Tipos de Cubierta Vegetal

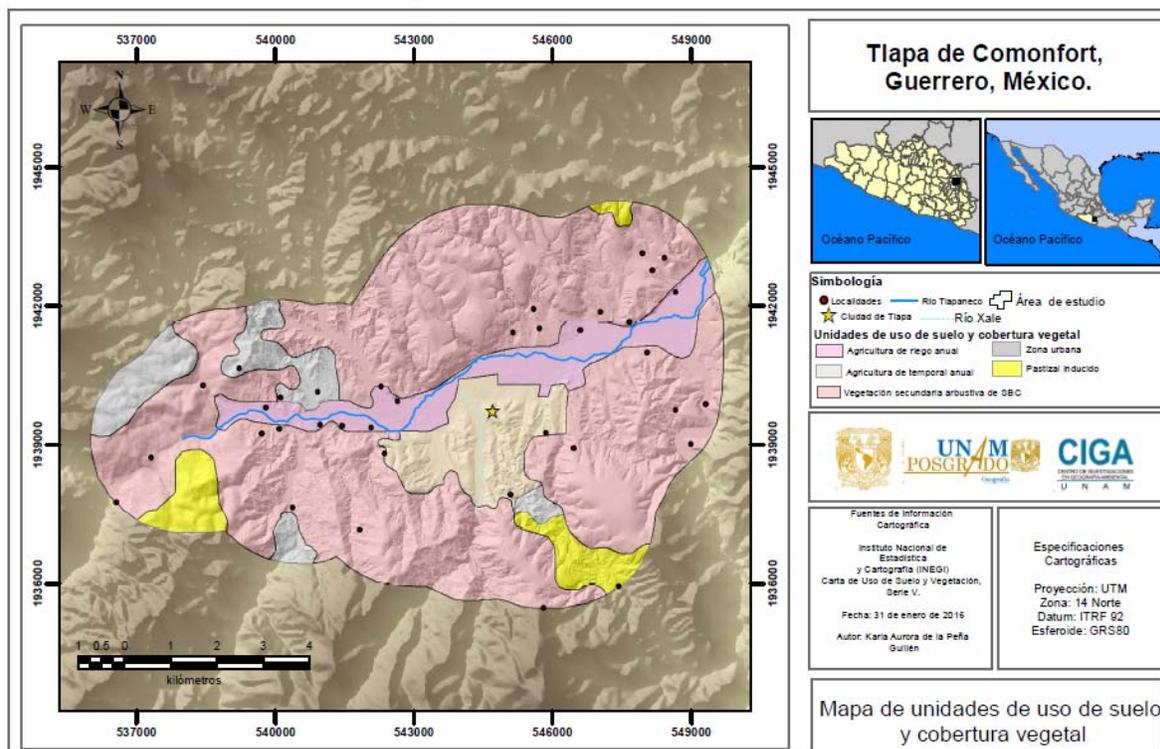


Figura 20. Unidades de Uso de Suelo y Cobertura Vegetal

Los tipos de cobertura vegetal presentes en la ciudad son de tipo Selva Baja Caducifolia, selva baja caducifolia con vegetación secundaria arbustiva y Pastizales inducidos.

El tipo de vegetación que predomina en el área de estudio es el Bosque Tropical Caducifolio o Selva Baja Caducifolia con una fase de vegetación secundaria arbustiva, la altitud a la que se encuentra el área de estudio es la propicia para que este tipo de vegetación se desarrolle pues se encuentra a 1100 msnm y la temperatura promedio del sitio es de 24°. Estas características son las que se encuentran dentro de los rangos en los cuales este tipo de vegetación puede presentarse, pues según Rzedowski, 2006 la selva baja caducifolia se desarrolla entre 0 y 1900 m de altitud, la temperatura a la que se desarrolla es en general no menor a 0° y la temperatura media anual oscila entre los 20 a 29. Las principales características de las plantas en este tipo de vegetación es que se encuentra dominada por árboles de hojas caducas y el dosel rara vez rebasa los 15 m de altura (SEMARNAT, 2012). Tiene como principales representantes a la familia de las Burceraceae, Cactaceae y Leguminosae.

En cuanto a la superficie ocupada por cada tipo de vegetación y el uso que se le da al suelo tenemos en primer lugar que el uso que se le da al suelo es para realizar agricultura de temporal y riego anual los cuales ocupan 1417.12 ha, por lo que se refiere a las coberturas vegetales el tipo de vegetación de mayor presencia en el área de estudio con 6055.1841 ha es de selva baja caducifolia con vegetación secundaria arbustiva y finalmente el pastizal inducido que ocupa un total de 434.4696 ha.

3.2.6 Altitudes

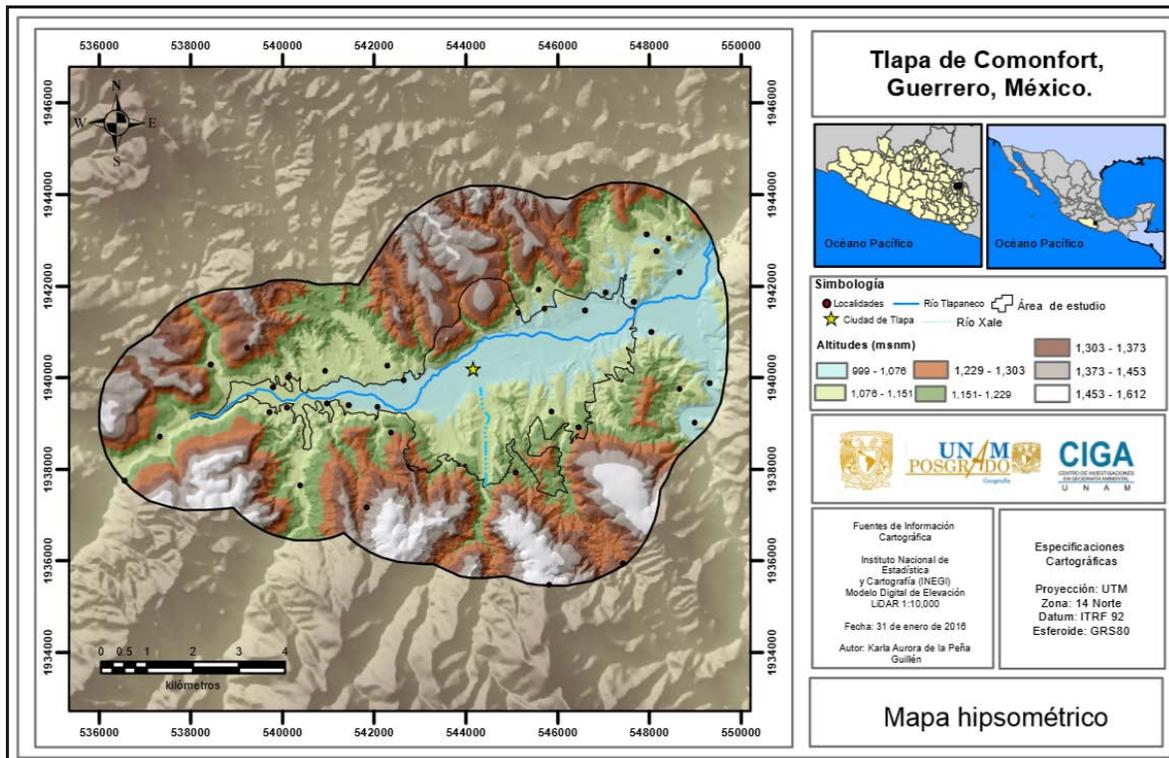


Figura 21. Mapa hipsométrico

El zona de estudio tiene rangos altitudinales que van desde los 969 m.s.n.m. llegando hasta los 1,462 m.s.n.m; tan sólo para el área de estudio, en la cual las zona de mayor altitud está localizadas sobre la parte norte del polígono general, mientras que las zonas circundantes del polígono general (generado por el buffer) el rango altitudinal va desde los mismos 969 m.s.n.m. con una variación en el rango más alto a comparación del área de estudio que es de 1,605 m.s.n.m. sobre este polígono podemos encontrar que las zona de mayores altitudes están localizadas en la parte sur, suroeste y sureste.

3.2.7 Aspectos Socio-Económicos

3.2.7.1 Actividades Económicas

Las principal actividad económica en Tlapa es la agropecuaria, la mayor parte de la población se dedica al cultivo de chile, cebolla, camote, maíz, frijol, y a la cría de especies pecuarias tanto de ganado mayor como de ganado menor, de las primeras destacan el ganado bovino criollo de rendimiento de carne y leche, el porcino, ovino, caprino y el equino, en cuanto al segundo existen aves de engorda de corral y de postura, así como la actividad apícola.

Hay presencia de pequeña industria, la cual está representada por tabiquerías y tejerías; así como la elaboración de sombrero de palma corriente y fina, que es una actividad complementaria (INAFED, 2009a.)

Se cuenta también con un mercado principal y un tianguis donde los locales pueden ir a ofertar sus productos, además hay bodegas propiedad de la Secretaría de agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), para el almacenamiento de fertilizantes, así como bodegas del fideicomiso de la Palma (FIDEPAL) para la compra y almacenamiento de sombrero de palma y un almacén de Impulsa Pequeño Comercio (IMPECSA), que se encarga directamente a la iniciativa privada y se dedica a distribuir mercancías a medianos y pequeños comerciantes (INAFED, 2009b).

3.2.7.2 Equipamiento urbano

En cuanto a la infraestructura con la que cuenta Tlapa en materia de salud existe un hospital del IMSS, un centro de salud, una clínica del ISSSTE, un Hospital de la Madre y el Niño Guerrerenses, y una clínica de La Cruz Roja (INAFED, 2009c), siendo estos los únicos centros médicos de mayores dimensiones y mejores equipados con los que se cuenta en la Montaña y a los cuales acuden los habitantes de toda la región.

Con respecto de la seguridad se cuenta con un cuartel de la policía estatal preventiva y dos delegaciones de protección civil, una municipal y otra estatal.

CAPÍTULO IV.

MATERIALES Y MÉTODO

4.1. MATERIALES

Para llevar a cabo este estudio se requirieron de insumos tanto cartográficos como de instrumentación. En cuanto a la cartografía, algunos de los insumos fueron utilizados de manera directa y otros se emplearon como base para la generación de nuevos materiales que fueron utilizados en la descripción del área de estudio y el desarrollo del modelo.

Para el monitoreo se utilizaron dispositivos que en conjunto con los softwares, formaron el sistema de monitoreo para transmisión y recepción de datos por medio de una interfaz.

En tanto para el procesamiento de datos tanto para los modelos de vulnerabilidad como para la información recabada por los dispositivos, se utilizaron programas como Microsoft Excel, TITAN2D, Global Mapper v17.1 y ArcMap 10.1.

Equipo		Software
Placa IMU Razor 9DOF Contiene:	Acelerómetro	Código de programación: IMU Razor 9DOF.py Lenguaje de programación: Python 2.7.9
	Magnetómetro	
	Giroscopio	
Radios Xbee pro S1	Emisor	
	Receptor	
Energía		
Batería de tipo recargable sellada 6V -1.3Ah		
Panel solar		

Tabla 3. Materiales utilizados para el montaje del sistema de monitoreo

Insumo cartográfico	Fuentes	Características	Resultados
Clima	INEGI	Carta climatológica 1:1, 000,000	Mapa climatológico
Geología		Carta geológica 1:250,000	Mapa geológico
Hidrología		Carta topográfica 1:50,000	Mapa hidrológico
Uso de suelo y Cobertura Vegetal		Capa se Uso de suelo y cobertura vegetal Serie V 1:250,000	Mapa de Uso de Suelo y Cobertura Vegetal
MDE (LiDAR)		Edición 2011 Escala 1:10,000	Modelo Sombreado, Modelo de pendientes, y mapa hipsométrico
Localidades y Manzanas		Marco Geoestadístico Nacional 2010	Mapa de vulnerabilidad de la población
Actividades económicas		DENUE, 2010	Mapa de equipamiento urbano

Tabla 4. Insumos utilizados en la cartografía base, temática y analítica.

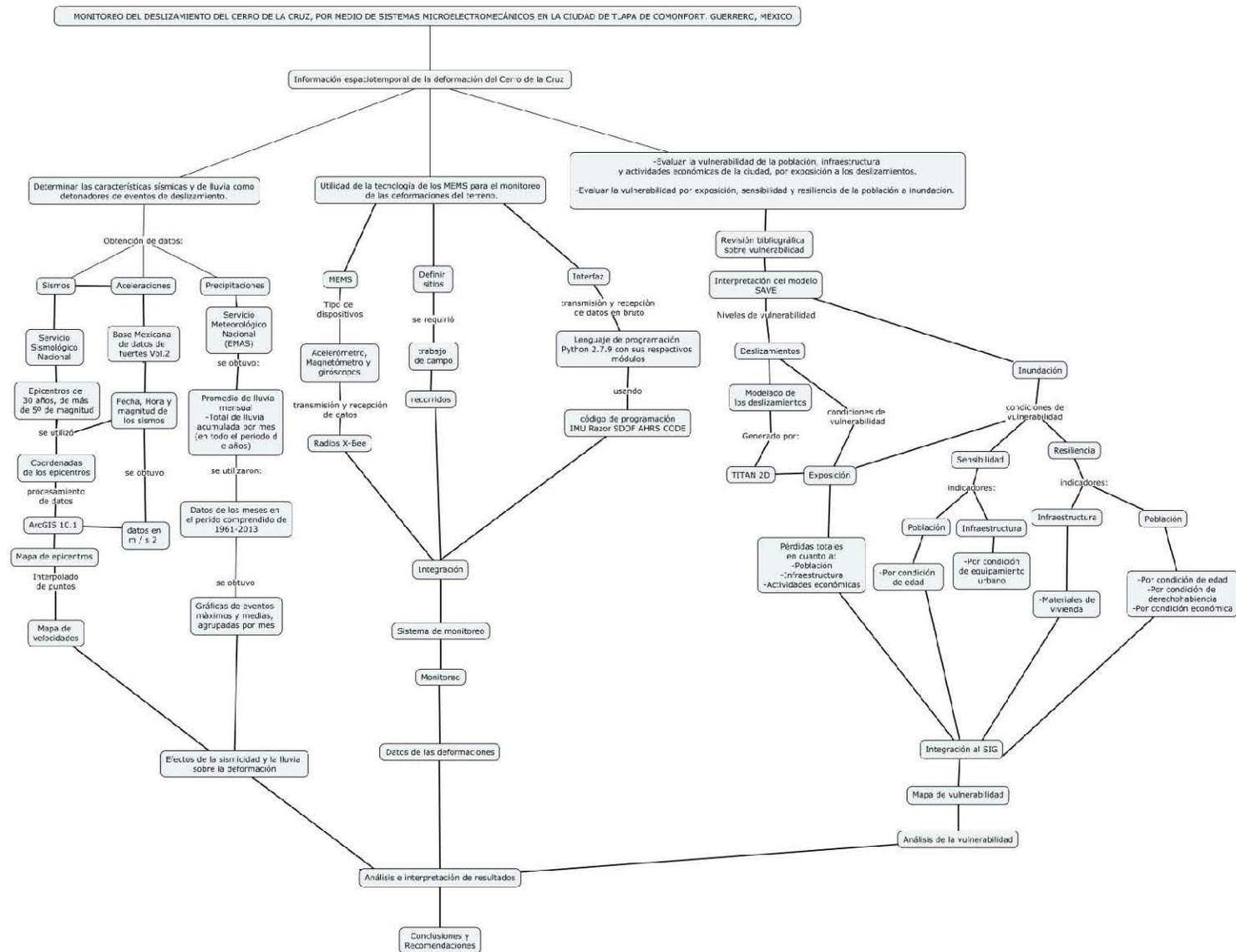


Figura 22. Diagrama de flujo de secuencia metodológica

4.2. MÉTODO

La metodología aplicada en esta investigación está basada en el uso de nuevas tecnologías inalámbricas que funcionan con Sistemas Microelectromecánicos, los cuales tienen características que permiten realizar el monitoreo de las deformaciones. Igualmente, se hizo uso de los Sistemas de Información Geográfica para llevar a cabo la integración la información de todos los elementos condicionantes que influyen en los deslizamientos de los cerros de La Cruz y Bola.

Para sistematizar dicho método se dividió por 4 etapas las cuales consisten en lo siguiente:

Etapa 1

4.2.1. Recopilación documental

La adquisición de los datos conlleva la recopilación de la información necesaria y disponible para la realización de la Introducción, Marco teórico y Metodología, así también como de los insumos necesarios para el análisis y generación de cartografía base y temática requerida para el análisis de los deslizamientos.

Se tomó información de diversas fuentes como: artículos de investigación, tesis, estudios técnicos y bases de datos de los cuales se pudo obtener la información necesaria para realizar la parte teórica de este estudio, con la cual se adquirieron las bases necesarias para dar sustento a lo aportado en el documento.

Las fuentes a las que se recurrió para la realización de estos pasos fueron de:

- Artículos en línea
- Sitios Web
- Tesis tanto de maestría como doctorales

- Periódicos, como en el caso de la Jornada y el Universal
- Memorias de congresos, etc.

Se utilizó la base de datos de DesInventar para la obtención de información sobre los deslizamientos ocurridos en Tlapa de Comonfort y alrededores, en un periodo de tiempo de 9 años (2005-2009) que fue de utilidad para los antecedentes, pues en estos estudios siempre es conveniente tener conocimiento previo de lo que se ha suscitado en el área de estudio con respecto al tema que se aborda, y en este caso tan importantes como los deslizamientos de Tierra.

- Recorrido General de la zona de estudio.

Con el objetivo de obtener las características geomorfológicas y geológicas se realizaron 2 recorridos de campo, en abril y septiembre de 2015. A partir de estos recorridos con el asesoramiento de un experto en la materia y de la información bibliográfica recopilada se completó la preparación de los mapas de geomorfología y geología y estructural.

Posteriormente se procedió a generar un shape de polígono en ArcGis 10.1 usando las herramientas de digitalización, delineando con precisión cada una de las unidades geológicas reconocidas en el recorrido de campo.

Por último se realizó una última visita al área de estudio para llevar a cabo la instalación de los MEMS sobre el cerro de La Cruz.

- Análisis de la Información y trabajo de campo

Se generaron mapas de unidades geomorfológicas y geológico-estructurales a partir de la cartografía base (MDE), complementado con trabajo de campo y apoyados con fotografías aéreas tomadas con un dron tipo Phantom 1.

- Manejo y generaci3n de cartografía base y temática

Mediante la aplicaci3n del software ArcMap 10.1 se generaron los siguientes productos:

- *Cartografía base*

Se efectu3 a partir del MDE LiDAR 1:10,000 que tiene un tamaño de pixel de 5 metros, y se complement3 con la carta topogr3fica 1:50,000 donde no hay cobertura de datos LiDAR, ambos obtenidos de la base de datos de INEGI.

- *Cartografía temática*

Mapas como: climatol3gico, uso de suelo y cobertura vegetal; y geol3gico los cuales se obtuvieron con la ayuda de las cartas geol3gica, climatol3gica, Uso de Suelo y Cobertura Vegetal de INEGI, cada una de ellas a diferentes escalas, en algunos casos particulares como el mapa geol3gico se hizo una modificaci3n por medio de la digitalizaci3n del mismo.

- *Cartografía Analítica*

Se generaron mapas a par tir de la cartografía b3sica y temática (utilizando principalmente el Modelo Digital de E levaci3n LiDAR y el mapa geol3gico de ambos cerros) donde a partir de estos se obtuvieron resultados como: los perfiles topogr3ficos, mapa estructural de los cerros (Figuras 40 y 41), mapa geomorfol3gico, el MDE y el hipsom3trico.

Para el mapa de sismicidad y las gr3ficas de an3lisis de las precipitaciones, se ech3 mano de datos proporcionados por el Servicio Meteorol3gico Nacional (SMN) en el caso de las precipitaciones y el Servicio Sismol3gico Nacional (SSN) para los datos relacionados con los epicentros, as3 como la extracci3n de informaci3n sobre aceleraciones s3smicas obtenidas de la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes (CD-ROM) de la Sociedad Mexicana de Ingenier3a S3smica.

Im3genes satelitales: Se utilizaron las im3genes del servicio WorldImagery de ESRI para realizar una interpretaci3n visual del 3rea de estudio.

Etapa 2

4.2.2 Análisis de las variables y caracterización de los cerros

4.2.2.1 Análisis de precipitación

Para realizar el análisis de precipitación histórica se obtuvieron datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la estación de Tlapa de Comonfort (12091), la cual comprende el periodo de 1961 a 2013, cabe mencionar que a pesar de ser reportados 52 años de registros por el SMN la base de datos no es continua ya que presenta un faltante de en 4 años (2001 al 2004) por lo que sólo se consideraron 48 de los 52 años registrados, estos datos faltantes no se pudieron estimar debido que no existe ninguna estación cercana que nos permitiera estimar los datos faltantes. En primer instancia se analizó el promedio mensual de las precipitaciones periodo anteriormente mencionado, esto con

intención de identificar cuáles son los meses con mayor y menor precipitación y de esta forma hacer una relación con los eventos de deslizamiento.

Además se identificaron los meses con precipitaciones extremas máximas para obtener el mes de máxima precipitación que se presentó en este periodo (1961-2013), debido que existe una estrecha relación de los eventos máximos de precipitación con los eventos de deslizamientos.

En tanto, para el análisis y correlación de sismicidad se procedió de la siguiente manera:

4.2.2.2 Análisis de sismicidad

Para el análisis del mapa de sismicidad se utilizaron datos del Servicio Sismológico Nacional (SSN), para un periodo de tiempo de 30 años abarcando desde el día 10 de febrero de 1984 hasta el 8 de septiembre de 2014 con una magnitud mayor de 4° con base a los parámetros utilizados por Keefer (1984), se tomaron estos años para tener mayor precisión de la posible influencia que

ejercen los eventos sísmicos (factor detonante) sobre las deformaciones observadas.

Después, para su procesamiento en el SIG, se vaciaron los datos de los 30 años para todo México y para la depuración de puntos se realizó un buffer de 1000 km, número de kilómetros que fueron tomados con base al estudio realizado por Keefer, 1984, y que para este estudio tuvieron como punto de partida el polígono de la ciudad de Tlapa, posteriormente se procedió al recorte de puntos que representan cada epicentro siendo un total de 769 epicentros los obtenidos dentro del área de alcance de los 1000 km (Figura 34).

Se utilizó el programa de la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes para la extracción de las aceleraciones para cada sismo tomando en cuenta la fecha, la magnitud y la hora en que ocurrió el evento de los sismos mayores de 5.0°. Una vez obtenidas las aceleraciones se procedió a realizar una interpolación de puntos basado en el método de *Natural Neighbor* por ser el que menos irregularidades presentó en el modelo (Figura 38).

4.2.2.3 Estructuras de los Cerros

La estructura de los Cerros de La Cruz y Bola, se obtuvo con base a un Modelo Digital de Elevación (LiDAR), escala 1:10,000 y para su generación de estos mapas morfológicos se hizo lo siguiente:

Con base al Modelo Digital de Elevación y el mapa de pendientes se hizo una interpretación visual con la cual se pudo determinar los diferentes elementos estructurales que se encuentran en los cerros, para dicha tarea se utilizó la herramienta de trazado vectorial y se fueron dibujando cada uno de los elementos basados en la simbología de una carta geológico-minera elaborada por el SGN (Servicio Geológico Nacional) (Figuras 40 y 41). También se generaron los mapas de depósitos para cada cerro delimitándolos mediante la interpretación visual (figuras 42 y 43).

4.2.2.4 Topografía de los Cerros

Se realizaron perfiles topográficos de ambos cerros, para dicho propósito se siguieron los siguientes pasos:

Se realizó una delimitación del objeto de estudio, en este caso de los Cerros de La Cruz y Bola, y se obtuvo una altura sobre el valle del Río Tlapaneco, de 329 metros para el Cerro de La Cruz, mientras que el Bola tiene una altura de 375 metros para así lograr tener una mejor visualización de cada uno de ellos.

Con la herramienta de trazado de vectores se realizaron las líneas sobre la capa del MDE para cada cerro los cuales serían los perfiles (Figuras 57 y 65). Las mediciones para cada uno de los perfiles fueron las siguientes:

Cerro de La Cruz		Cerro Bola	
Perfil	Longitud (m)	Perfil	Longitud (m)
A-A'	794	A-A'	1467
B-B'	793	B-B'	1534
C-C'	796	C-C'	1541
D-D'	794	D-D'	1521
E-E'	815	E-E'	1508
F-F'	816	F-F'	1510
G-G'	820	Tabla 5. Medidas de perfiles en longitud sobre el terreno	

Etapa 3

4.2.3 Configuración de los sistemas Microelectromecánicos

4.2.3.1 Configuración radio Xbee-placa IMU Razor 9DOF

1.- Se descargó desde el sitio web www.digi.com el software XCTU, que permitió realizar la configuración de los radios.

2.- Se comprobó que se pudieran conectar los módulos adecuadamente, usando el botón de prueba ubicado en las herramientas de la pantalla principal.

3.- Se configuraron los módulos correspondientes, uno como “coordinador¹” y otro como “router²”. Posteriormente se buscó la pestaña de configuración del modem y se seleccionó la función apropiada.

En cuanto a la realización de los ajustes a ambos módulos se siguieron estos pasos que a continuación se presentan.

Ajustes para el módulo coordinador

- a) Function set= “Znet 2.5 en el módulo coordinador”
- b) PAN ID= Éste ajuste se selecciona libremente siempre y cuando ambos módulos utilicen el mismo número de identificador, lo que permitirá que no haya interferencia con otras señales ajenas a las emitidas por los radios Xbee.
- c) DH= Es representado por el valor SH para el enrutador
- d) DL SL=Valor del módulo de enrutador
- e) BD=57600

Ajustes para el módulo de enrutador

- a) Function set= “Znet 2.5 en el modulo Router/End device at”

¹ **Coordinador:** Es el modulo que se encarga de recibir la señal (radio receptor) y del radio emisor, y va conectado al equipo de cómputo

² **Router:** Este modulo permite al radio emitir la señal de acuerdo a los movimientos registrados

- b) PAN ID=Seleccione el mismo que ha seleccionado para el m3dulo coordinador
- c) DH=Es representado por el valor SH para el coordinador
- d) DL SL=Valor del m3dulo coordinador
- e) BD=57600

Una vez cambiada la configuraci3n en ambos m3dulos (como se mostr3 con anterioridad en los ajustes para m3dulo coordinador y enrutador) se procedi3 a grabar los cambios hechos, pulsando el bot3n "Write".

Despu3s de haber realizado los cambios correspondientes y haber obtenido una grabaci3n de datos exitosa, apreci3 un mensaje de error, por lo que se reinici3 el programa para que se reconocieran las configuraciones nuevas.

4.2.3.2 Conexi3n a la corriente el3ctrica

La energ3a utilizada para alimentar los dispositivos se obtuvo a trav3s de un panel solar adherido a una caja de polipropileno (para proteger sensores MEMS), que a su vez proporcion3 energ3a a la bater3a de 6V (Voltios) y 1.3Ah (Amperes). No se requiri3 de ning3n regulador adicional pues la placa IMU ya tiene uno integrado.

4.2.3.3 Instalaci3n del software/interfaz

Se descarg3 el c3digo de programaci3n de Razor AHRS Firmware, despu3s se realiz3 la descarga de la plataforma de Python 2.7.9 junto con los m3dulos Pyserial 2.7.9, Pywin 32-219 y VPython-Win-64Py2.7-6.11; este 3ltimo m3dulo es el que nos permiti3 visualizar de manera gr3fica los movimientos de la placa IMU (Inertial Movement Unit) Razor con sus tres ejes (X, Y y Z) en funcionamiento.

Despu3s se procedi3 a modificar el c3digo de programaci3n, por ejemplo:

- a) La funci3n "rate" para lograr visualizar de manera gr3fica los movimientos de la placa, pues en primeras instancias no era posible.

- b) Agregar a la función “time” hora, minutos y segundo; lo que permitió observar justo la hora, minutos y segundos de cada registro de movimiento.
- c) Agregar la función “Date” día, mes, año; para tener un registro de la fecha de cada registro de movimiento.

4.2.3.4 Montaje del cableado IMU-Radio

Se realizaron conexiones entre el radio emisor (Figura 23) y la placa IMU Razor (Figura 25), esto con el fin de que haya transmisión de información de la placa IMU-Razor que sea enviada por medio del radio conectado a ella hacía el radio receptor (Figura. 24).



Figura 23. Radio emisor



Figura 24. Radio receptor

4.2.4 Instalación de los Sistemas Microelectromecánicos

4.2.4.1 Características del sistema de monitoreo

Se requirió de la colocación de una caja de polipropileno (plástico) con panel solar incluido y hermética para evitar la entrada de agua y otros agentes que puedan dañar el sistema. La caja contendrá la batería que alimenterá los dispositivos (MEMS) y a su vez la batería será recargada con ayuda del panel solar que la caja incluye. (Figura 26)

4.2.4.2 Sitio de instalación

Los dispositivos se instalan en sitios clave que permitan tener mediciones precisas de los movimientos que pudieran ocurrir en el tiempo de monitoreo (este es indefinido, pues para realizar un seguimiento con datos significativos de los movimientos se requiere de un periodo de tiempo largo). El dispositivo fue instalado en una zona que se estima es poco propensa a colapsar en un corto periodo de tiempo, para lo que se utilizó el mapa de morfología del cerro de La Cruz.



Figura 25. Placa IMU Razor 9DOF

Para evitar cualquier accidente con las conexiones, se tomaron medidas preventivas tales como el posicionamiento en vertical de la caja con el objetivo de que las salidas del cableado y de la antena estuvieran protegidas contra la lluvia u otro elemento.

- Topografía de los Cerros



Figura 26. Caja de polipropileno con panel solar adherido

Para realizar el puente entre la placa (Figura 28) y el radio emisor se utilizó cableado de diversos colores, esto con la finalidad de facilitar el reconocimiento y la función de cada conexión como lo indica la siguiente tabla:

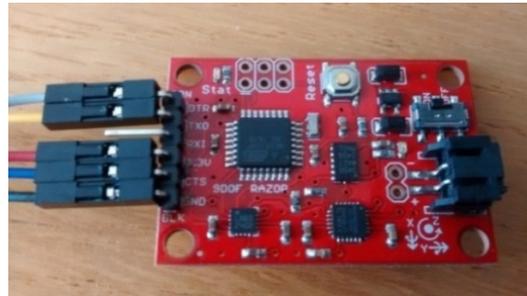


Figura 27. Cableado de la placa

Cable/color	Conexiones Radio/Razor	Función	Descripción
Amarillo	*Din/*TXO	Transmisión de datos	Transmite los movimientos directamente de la placa
Azul	*Dout /*RXI	Recepción	Recibe señales desde la PC hacia la placa Razor
Negro	GND/GND	Ground/tierra	Carga negativa de la corriente eléctrica
Rojo	3.3 V/3.3V/VCC	Corriente eléctrica	Carga positiva de la corriente eléctrica
Morado	CTS-I/CTS	Controlador	

Gris	RST/RST	Reset	Reiniciador de la placa IMU
-------------	---------	-------	-----------------------------

Tabla 6. Conexión básica IMU Razor-Radio XBee

En algunas ocasiones las conexiones radio-placa variar según el tipo de radio que se utilice, por ejemplo, pueden encontrarse como DIN o TXO para la transmisión y Dout o RXI para la recepción, dependiendo del proveedor y marca.

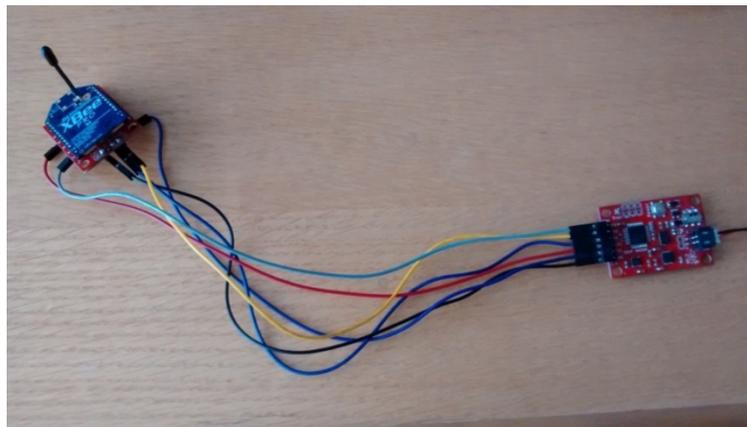


Figura 28. Conexiones entre la placa IMU Razor y el radio emisor

4.2.5 Calibración de sensores

4.2.5.1 Calibración del acelerómetro

Para realizar la calibración del acelerómetro se siguieron algunos pasos que involucraron varios movimientos del sensor, a continuación se detallan algunos de estos pasos.

- a) Se tomó la placa IMU- RAZor y se posicionó de manera que el eje de las X apuntara hacia abajo.
- b) Después se inclinó la placa hacia todas direcciones, y se registró el valor máximo de inclinación al que había llegado, teniendo cuidado en que ya no aumentara más y se mantuviera.

c) Se volvió a realizar el mismo proceso anterior pero ahora sobre el lado opuesto (eje X apuntando hacia arriba) para obtener el mínimo de X, registrando en este caso el valor mínimo reportado por la placa.

d) Por último se realizó el mismo procedimiento del eje X para los ejes Y y Z

4.2.5.2 Calibración de giroscopio

a) Se colocó la placa sobre una superficie plana

b) Se posicionó la placa en modo de calibración

c) Se esperaron 10 segundos (sin mover la placa), de la información recopilada se realizó un promedio de los valores mostrados por el giroscopio.

4.2.5.3 Calibración de magnetómetro

Para la calibración del magnetómetro se requirió de llevar el sensor a un espacio aislado de todo material magnético (postes, equipo de cómputo, edificios, etc.) que pudiera interferir. El fin de realizar esta calibración en esas condiciones es para evitar errores al momento de precisar la orientación (norte, sur, este y oeste) con respecto al norte magnético una vez colocados en el cerro.

Para realizar dicha tarea el sensor fue introducido dentro de una cámara aislante de magnetismo especial, que no permite la influencia de ondas magnéticas.

Después se sujetó la placa como una brújula (con el eje X hacia adelante) apuntando así hacia el norte y es cuando se procedió a girar la placa hacia este y oeste apuntando hacia abajo.

Por último se giró la placa hacia todas direcciones hasta que el valor mostrado del magnetómetro no aumentara.

4.2.5.4 Calibración conjunta de sensores

Para realizar la calibración de los dispositivos se utilizó un objeto, el cual pudo ser manipulado de modo que pudiera ser inclinado a consideración del proceso de calibración (cada 10°), para lo cual se hizo uso de una mesa, la cual se dio a la tarea de verificar que se encontrara bien alineada respecto al suelo, y a la cual se adhirió la placa IMU con el objetivo de lograr realizar diferentes posicionamientos de la misma a diferentes ángulos.

- a) La caja fue asegurada a manera que al momento de realizar los movimientos a diferentes ángulos, ésta no cayera o moviera, para evitar irregularidades con el proceso de prueba.
- b) Se utilizó un nivel de burbuja para corroborar que la caja estuviera estabilizada y en plano totalmente (ver anexos Figura 10) con orientación norte
- c) Posteriormente se procedió a iniciar la interfaz de python 2.7.9 para la visualización y registro de los datos
- d) Se realizaron cambios en la inclinación de la mesa a diferentes ángulos (0 a 90°).

4.2.6 Prueba de alcance placa-radio

- a) Se realizó una prueba de alcance de transmisión de datos con el montaje placa-radio, con la ayuda de un dron modelo Phantom 3 Pro de la marca DJI. La tarea consistió en montar la placa y el radio transmisor en un soporte del dron³ (Figura 29).
- b) Una vez preparado todo el equipo (computadora portátil, radio receptor, y calibración del dron) se procedió a iniciar el vuelo.

³ Drone: **vehículo aéreo no tripulado**. Es una aeronave que vuela sin tripulación y puede ser terrestre, aérea o acuática.

c) Inicialmente se elevó el dron a una altura promedio de 200 m sobre la vertical para tener noción de la distancia máxima podían transmitir los sensores sin que se corte la transmisión de los datos. Ya que fue corroborada esta altura inicial, el siguiente paso fue comprobar el alcance que tiene la placa en horizontal sin obstrucciones de ningún tipo para esto se probó enviando el dron a una distancia de 1336 metros, distancia a la que aún había recepción de datos, por lo que no fue necesario ir más lejos(Figura 30).

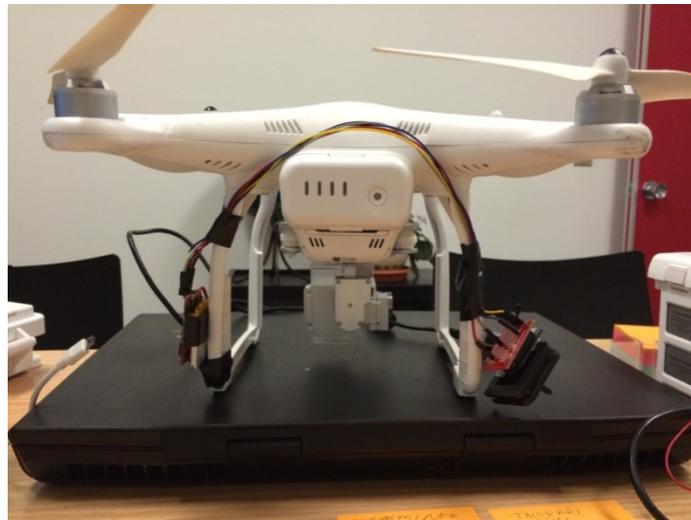


Figura 29. Montado de placa IMU (izquierda) y radio (derecha) sobre el dron.



Figura 30. Impresión de pantalla de un teléfono inteligente utilizado para monitorear el vuelo y recorrido del dron en tiempo real. En la parte inferior se aprecian los valores H: 200.3 y D: 1336.2 que corresponden a la altura y distancia a la cual todavía se registraron datos correctos de la placa IMU.

4.2.7 Prueba de laboratorio

Se realizaron algunas pruebas piloto para confirmar el correcto funcionamiento de la placa con todas las configuraciones ya realizadas. Se llevaron a cabo ejercicios utilizando los dispositivos sobre un sujeto de prueba, por ejemplo: un montículo de tierra de aproximadamente 2 m de alto por 3 m de largo (ver anexo 1, Figura 3.). En ambos casos se posicionó la caja (con los dispositivos integrados) de manera horizontal;

Sujeto de prueba “Montículo de tierra”

- a) Se colocó la caja en plano horizontal, en un sitio con una estabilidad considerable y por encima de la parte socavada del montículo
- b) Se orientó la caja con dirección al norte
- c) Se inició la interfaz Phytion 2.7.9 para registro y visualización de datos
- d) Se simularon movimientos sobre el montículo por medio de vibraciones inducidas mediante el impacto de una roca a diferentes distancias de 4, 2, 1 y .50 metros (ver anexo 01, figura 5).

Cabe mencionar que para cada prueba se tuvo una posición de origen para cada sujeto respectivamente diferente en cada experimento, debido a la calibración de la placa.

Sujeto de prueba	Posición de origen		Orientación
	Pitch (X)	Roll (Y)	Yaw (Norte magnético)
Montículo de composta	41.3°	175.4°	Noroeste

Tabla 7. Posiciones de origen para el sujeto de prueba

4.2.7 Monitoreo de la deformaci3n

- El monitoreo de las deformaciones se llev3 a cabo mediante sensores consistentes en aceler3metro, magnet3metro y gir3scopo. El conjunto proporciona 9 grados para medici3n inercial, es decir cada sensor mide en tres ejes simult3neamente. Todas las salidas de los sensores son procesadas por un chip ATmega328 que envía a su vez la informaci3n por su puerto serie UART para poder recuperarlos de forma limpia (Spark Fun Electronics, 2015).
- De los valores registrados despu3s de instalada la placa se obtuvo un promedio (Tabla 8) de todos los valores registrados que fue de utilidad para conocer la posici3n de origen en el sitio de instalaci3n, la cual se tomar3 como referencia al momento de realizar la interpretaci3n de los datos y por lo tanto de los movimientos ocurridos.

Posici3n de origen		Orientaci3n
Pitch (X)	Roll (Y)	Yaw (Norte magn3tico)
11.38°	111.54°	Sureste

Tabla 8. Posici3n de origen de la placa instalada sobre la parte superior de la cara frontal del Cerro de La Cruz.

4.2.8 Recopilaci3n de datos

Una vez hecho el monitoreo se realiz3 un corte de datos, con lo que se estableci3 cierto lapso de tiempo para la descarga de un paquete de datos para dar inicio a otro nuevo, esto con el fin de facilitar la tarea de la recolecci3n y el procesamiento de estos. Para dicha tarea se realiz3 una modificaci3n en el c3digo de la placa, donde se adicionaron hora, mes, y día, así como el formato en el cual los datos serían guardados en la hoja de c3lculo. Para esto se program3 como interfaz de salida de los datos la hoja de c3lculo excel. Posteriormente se implement3 un m3todo de conexi3n remota para recopilaci3n de datos obtenidos por medio del software "TeamViewer", con el cual se pudo efectuar una conexi3n remota a otro

equipo, por la cual es posible acceder el equipo receptor de las señales de la placa instalada en el cerro, y que se encuentra en las oficinas de Protección Civil estatal.

Una vez que se recopilan los datos se procede a eliminar el archivo generado para ese día, pues consume un alto espacio en el disco de la PC. Y por último se procesa la información y se generan gráficos de correlación entre los movimientos registrados por los sensores y la ocurrencia de algún posible evento causal, o bien el movimiento por sí solo sin la influencia de ningún factor detonante, es decir, únicamente por efectos de la gravedad.

Etapas 4

4.3 MODELACIÓN

4.3.3 Modelamiento de los deslizamientos de los Cerros de La Cruz y Bola

Para el modelado de la falla catastrófica de los deslizamientos se utilizó el código TITAN 2D, el cual fue diseñado por el grupo Geofísico de modelado de flujos en masa en State University of New York (SUNY) en Buffalo, E.E.U.U (Patra et al. 2005) mediante la combinación de simulaciones numéricas de un flujo con datos del modelo digital de elevación, a través de la interfaz de un sistema de información geográfica (Geophysical Mass Flow Group, 2007). Originalmente este código fue diseñado para medir flujos granulares secos de un punto inicial de colapso en un terreno natural, por ejemplo, en flujos piroclásticos de los volcanes (para lo cual fue diseñado inicialmente) (Procter *et al.* 2010). El programa funciona bajo el supuesto de que una masa de material granular se mueve pendiente abajo por la gravedad.

No obstante TITAN2D brinda elementos por medio de los cuales se puede realizar el modelado de deslizamientos de tierra, por ejemplo, se ha empleado este código para modelar flujos de detritos en el caso específico de los movimientos de ladera. Sin embargo, cabe resaltar que este código no fue diseñado para realizar modelados sobre deslizamientos de tierra, pues tiene limitantes en cuanto a no

tomar en cuenta algunos parámetros relacionados con factores que detonan el movimiento como: la humedad y el material geológico. Sin embargo es posible obtener una aproximación al problema por lo que se decidió su empleo.

Para el proceso de modelado de los deslizamientos se procedió inicialmente a realizar la instalación del sistema operativo de Linux (sistema con el cual opera TITAN 2D), después se preparó el MDE general del área de estudio que fue utilizado para realizar la simulación del deslizamiento para cada cerro, después este MDE fue subido al sistema de la Universidad de Buffalo para ser preparado en línea y posteriormente fue procesado por el código TITAN 2D con la información de insumos destinados para ser introducidos en los campos requeridos, previo a ejecutar la simulación. La información requerida se encuentra incluida en uno de los siguientes tres tipos: 1) especificaciones de los datos de SIG, 2) Parámetros Computacionales y 3) Pila, “Flux-Source”, y parámetros de propiedades del material (TITAN user guide, 2010).

- **especificaciones de los datos del SIG:** Las primeras seis opciones preguntan al usuario la información de entrada sobre los datos del SIG para ser utilizados en la simulación:
 - a) Se ingresaron datos a la casilla “GIS Information Main Directory” donde se colocó la ubicación de los SIG datasets o conjunto de datos.
- **Parámetros Computacionales:** Las siguientes entradas están relacionadas con cálculos y datos de salida (Tabla 9).
 - En la casilla “Simulation Directory Location” se especificó el directorio donde se almacenaron los archivos de salida de datos.
 - Se especificó “Number of Piles”, número de pilas, para incluir en la simulación.
 - Los siguientes dos parámetros de entrada hacen referencia al tiempo de simulación. Se especificaron los siguientes parámetros:

“**Maximun Number of Time Steps**”, número máximo de pasos y “**Maximun Time [sec]**”, máximo de tiempo en segundos aunque se pueden utilizar fracciones de segundo.

“**Time [sec] Between Results Output**”, tiempo entre salida de resultados en segundos, el usuario puede especificar la frecuencia con la cual se crearán archivos de salida.

“**Visualization Output**”, para la salida de visualización, se utilizó el formato de archivo tecplotxxx.plt, para lo cual únicamente se activó la casilla correspondiente a este formato.

- **Pila “Flux-Source” y parámetros de propiedades del material:** esta información de entrada se utiliza para caracterizar la naturaleza del material en la simulación (Tabla 10).
 - **Ángulos de fricción:** Los parámetros de **ángulo de fricción interna** y el **ángulo de fricción basal** establecen las fuerzas de resistencia por fricción que se producen dentro del material que se simula, y entre el material y la superficie basal. El ángulo de fricción interno corresponde a la fricción resultante de la interacción entre partícula y partícula dentro del material que fluye.
 - Se tomó el **Center of the source, xc, yc**, que es el centro de la fuente, dada en coordenadas UTM; Major and Minor Extent, major R (semieje mayor), minor R (semieje menor), los ejes mayor y menor de la fuente de flujo, si se considera de forma elíptica;
 - **Orientation angle [grados]** la orientación en grados desde eje x al eje mayor.
 - **Initial Maximum Thickness:** Se tomó la medida de la pila inicial (la de mayor altura)

Parámetros	Valores
Escala	20,000
Número máximo de pasos	3,000
Tiempo máximo	300
Tiempo (segundos) entre resultados de salida:	1
Tiempo (segundo) entre resultados guardados	1
Choose formats ⁴	tecplotxxx

Tabla 9. Configuración para el procesamiento de modelos

Parámetros	Cruz	Bola
Distancia semieje mayor	1350 m	1300 m
Distancia semieje menor	590	750 m
Coordenadas del Eje Central	X= 543708 Y= 1940740	X=544751 Y=1941261
Ángulo	45°	45°
Ángulo de Fricción Interna	40	40
Ángulo de Fricción Basal	20	20
Máximo Espesor Inicial	320 m	288 m

Tabla 10. Propiedades del material

Los parámetros fueron obtenidos a partir de mediciones realizadas sobre los cerros con el uso de ArcGis. Particularmente para los ángulos de fricción interna y basal se utilizaron los propuestos en la TITAN Guide Users (2010) y para los valores utilizados en el máximo espesor inicial se utilizó el módulo ArcScene con la herramienta Extrusión as 3D, y posteriormente se midieron los espesores de las pilas (desde la base hasta el punto más alto).

Los valores de las propiedades de los materiales también fueron obtenidos de la TITAN Guide Users (2010).

⁴ Los tipos de formatos son seleccionados de la lista de TITAN 2D y se toman en cuenta para la salida de los puntos una vez terminado el proceso de modelado.

Etapa 5

4.4 MÉTODO PARA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad fue evaluada tomando como bases teóricas el modelo conceptual de Turner, et al. 2003. El cual consideró que la probabilidad de un sistema, (ya sea humano o natural y cualquiera de sus componentes sufra daños) derivados de la exposición y la sensibilidad a un peligro, y la incapacidad para recuperarse y adaptarse una vez que el peligro ha causado un impacto.



Figura 31. Metodología general para definir áreas vulnerables a deslizamientos (Morales, 2007)

La metodología para la evaluación de vulnerabilidad de la ciudad de Tlapa se basó parcialmente en el modelo SAVE (Spatial Analysis of the Vulnerability Environment) (Morales, 2007a), el cual aborda los componentes de vulnerabilidad enfocándose en patrones espaciales y temporales, lo cual ofrece una estrategia de análisis operativo a partir de relaciones espaciales de los elementos socio-ambientales sujetos a relaciones de exposición, sensibilidad y resiliencia (Corona, 2009).

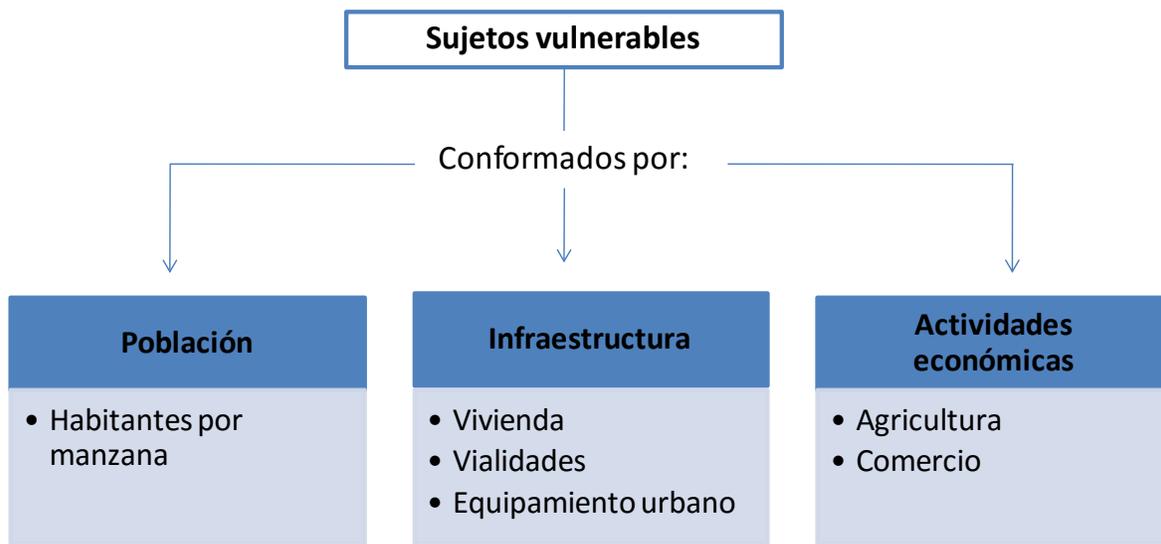


Figura 32. Esquema SAVE de análisis de vulnerabilidad

A diferencia de otros modelos, el modelo SAVE se enfoca en evaluar la vulnerabilidad desde una perspectiva geográfica debido a que emplea como bases conceptuales genéricas, el análisis espacial, el lugar (escala) y los patrones de vulnerabilidad. Una de las ventajas de este modelo por el cual es conveniente para la evaluación de la vulnerabilidad es debido a la existencia de una visión de integralidad entre lo natural y las interacciones humanas.

El estudio de los componentes de vulnerabilidad y peligro se abordaron enfocándose en niveles espaciales y temporales que estos producen, para lo cual se analizaron las relaciones espaciales y temporales que estos establecen, en este caso en particular, la población, infraestructura y actividades económicas, y el peligro a deslizamiento.

Para la evaluación de cada sujeto de vulnerabilidad se tomó en cuenta el tipo de peligro al que se encontraban expuestos. Una vez que se define a lo que se enfrentan estos elementos, es posible generar un modelo que permita conocer los tópicos considerados dentro de cada sujeto (Corona, 2009).

4.4.1 Evaluación de la vulnerabilidad

4.4.1.1 Identificación del escenario

Para identificar el escenario más catastrófico de afectación se determinó la distribución en el espacio del evento peligroso a través del modelado de los deslizamientos de los Cerros de La Cruz y Bola, por medio de los Sistemas de Información Geográfica y del software de simulación de flujos TITAND 2D.

4.4.2 Identificación de los sujetos de vulnerabilidad

4.4.2.1 Definición de sujetos de vulnerabilidad

Los sujetos de vulnerabilidad fueron considerados según la estructura dada por el modelo SAVE. Definidos como entidades espaciales cuyas propiedades son sometidas a la influencia de algún evento peligroso, en este caso los deslizamientos de tierra y las inundaciones producidas por el bloqueo de los cauces de los Ríos Tlapaneco y Xale (Figura 72)

- Población

Es la cantidad de habitantes que residen en zonas habitacionales e individuos que asisten a los planteles educativos. Para este sujeto se obtuvieron datos del Censo Nacional de Población 2010, de tres grupos de población de 0-14 años y 65 y más.

- Actividades económicas

Las actividades económicas están definidas para este estudio como: aquellos procesos por los cuales se generan productos, bienes y servicios, por ejemplo, agricultura.

- Infraestructura

Es considerada como un conjunto de servicios y elementos que son empleados como para satisfacer algunas necesidades de la sociedad, por ejemplo, vivienda, soporte a las actividades económicas y servicios de protección a la población constituidos por los siguientes elementos:

Vialidades

Para las vialidades fueron consideradas aquellas calles, terracerías y carreteras principales que son las que forman la red vial de la ciudad y son las que proveen el acceso a varias zonas de la misma e incluso a otras poblaciones aledañas.

*Equipamiento urbano*⁵

- Comercial. mercados, súper mercados,
- Equipamiento económico. viveros, purificadoras, materiales de construcción, distribuidoras de bebidas gaseosas, granja acuícola
- Comunicaciones. Central de autobuses
- Deportivo. cancha deportiva y unidad deportiva
- Recreativo. Balnearios y plaza de toros
- Religioso. Iglesias
- Salud. Hospitales y clínicas
- Educativo. Planteles educativos a nivel: Preescolar, primaria, secundaria, medio superior y superior.
- Otros: bodegas, cementerios y tanques de agua

⁵ SAHOP. Glosario de Términos sobre Asentamientos Humanos. p.62.

Vivienda

Espacio físico delimitado cuya función es la de proveer de refugio a la población, generalmente dentro de sus características principales se encuentran las de poseer entradas independientes y espacios para realizar diversas tareas (cocinar, dormir, descansar) y se encuentran hechas de diversos materiales para techo y paredes.

4.4.2.2 Definición espacial de los sujetos de vulnerabilidad

Al no tener evidencias locales de zonas de afectadas por algún evento relacionado con deslizamientos recientes se procedió a definir la zona de posible afectación utilizando las imágenes del servicio World-imagery de ESRI para uso en ArcMap 10.1 con la cual se generó el mapa de sujetos de vulnerabilidad mediante la interpretación visual en pantalla, donde se delimitaron; la infraestructura, manzanas urbanas y las actividades económicas (agricultura) y equipamiento urbano. Se trabajó a escala 1:20,000. También se generó otra capa independiente de la red de vialidades que conectan a la ciudad de Tlapa.

Se utilizó un Modelo Digital de Elevación de alta definición (LiDAR) con resolución de 10 m tomado de la base de datos de INEGI, para mayor calidad en el modelo del sombreado del relieve, lo que permitió una visualización más detallada de las estructuras morfológicas del terreno.

➤ Población

Para definir este sujeto se utilizó la capa de información vectorial de localidades urbanas, en conjunto con los datos recabados del Censo de Población 2010, del cual se obtuvo la información para el número de habitantes, población con derechohabiencia, población desocupada y total de viviendas.

➤ Infraestructura

Para generar esta capa se recurrió a la interpretación visual de una imagen satelital de World-Imagery, sobre la cual se trazaron polígonos dirigidos a

diferentes tipos de infraestructura como: Hospitales, mercados, súper mercados, tiendas de abastecimiento, unidades de recreación, cementerios, etc. Y para el trazo de calles y avenidas se utilizó como base la capa de vialidades de la ciudad de la ciudad de Tlapa.

4.5.1 Niveles de vulnerabilidad

4.5.1.1 Peligro por deslizamientos

Con base al modelado del escenario catastrófico realizado para los deslizamientos de los cerros de La Cruz y Bola, y la sobre-posición de las capas de los diferentes sujetos de vulnerabilidad (vivienda, población, actividades económicas, vialidades), se obtuvieron como resultado las áreas más expuestas a cada uno de los deslizamientos.

4.5.1.1.1. Evaluación de la vulnerabilidad por exposición

Se definió el límite del área del depósito del deslizamiento, mediante una línea que delimita la base actual del deslizamiento, la cual después fue rasterizada para poder llevar a cabo el proceso de determinación de zonas expuestas en base a la distancia desde el deslizamiento, esto con ayuda del MDE y el modelo sombreado de relieve, y posteriormente utilizando la función Euclidean Distance (Arcmap 10.1), la cual calcula, para cada pixel, la distancia euclidiana hasta el elemento más cercano. Esto último se hizo solo dentro del polígono trazado sobre el resultado del la modelación del escenario catastrófico, el cual representa la extensión del depósito.

Después se utilizó la función Zonal Statistic para sobreponer la capa de manzanas con la capa de distancias generada a partir de Euclidean Distance, y se normalizaron los valores con respecto a la distancia máxima. Con esto se obtuvo el valor de peligro para cada manzana con valores entre 0 y 1, correspondiendo los pixeles con valor de 1 a la categoría de mayor peligro y los de 0 a la de menos peligro.

La evaluación de la vulnerabilidad por exposición se determinó de tipo binario, lo que en términos de exposición representa la presencia o ausencia de los elementos vulnerables en el sitio del deslizamiento.

Cabe destacar que este proceso sólo se realizó para obtener el nivel de vulnerabilidad por exposición de la población y la viviendas por manzana; en el caso de los demás elementos como: equipamiento urbano, vialidades y actividades económicas, se realizó una sobreposición de capas, donde la información para evaluar cada uno de ellos se obtuvo de las tablas de atributos.

4.5.1.2. Peligro por inundación

La evaluación de la vulnerabilidad por inundación viene como resultado de un análisis de las consecuencias secundarias que traería consigo el deslizamiento tomando en cuenta el escenario más catastrófico.

Para definir espacialmente este evento secundario, la tarea consistió en generar un modelo del terreno que se ajustara a las condiciones posteriores a los deslizamientos, para lo cual se requirió el MDE modificado con los depósitos de los deslizamientos. Posteriormente para generar el modelado de la inundación se utilizó el software Global Mapper v17⁶, el cual permitió la obtención de la altura a la que podría llegar el agua en caso de un represamiento. Esto se logró realizando un cálculo para obtener la diferencia entre la zona más baja de la planicie de inundación y la parte más baja de la altura de la pila (depósito), dando como resultado la altura de la inundación.

⁶ **Global Mapper.** Es una potente y asequible aplicación que combina una gama completa de herramientas de tratamiento de datos espaciales con acceso a una variedad sin precedentes de formatos de dato

4.5.1.2.1 Evaluación de la vulnerabilidad por exposición a inundación

Para cubrir este aspecto se requirió de dos datos importantes, el primero conocer el espacio que ocupa la inundación y sus niveles de peligro, y posteriormente los patrones de vulnerabilidad.

Con base a las capas generadas para definir los sujetos de vulnerabilidad se realizó una sobreposición de la capa de cada uno de los modelos de inundación (obtenidos con Global Mapper v17, para cada uno de los cerros) generados a partir del modelo de los deslizamientos con la cual se pudieron estimar las pérdidas totales de infraestructura y actividades económicas, con ayuda de una interpretación visual de las capas sobrepuestas, y apoyada en las tablas de atributos de cada una de las capas para tener datos específicos acerca de las áreas de posible afectación.

4.5.1.2.2 Evaluación de la vulnerabilidad relativa por sensibilidad a inundación

Para construir este componente se precisó obtener dos tipos de indicadores a nivel de manzana:

Población

➤ Por condición de edad

Este indicador fue construido con base en lo siguiente:

Al haber un faltante de datos sobre la población en la base de datos original del Censo de Población 2010, se recurrió a realizar un cálculo independiente tomando en cuenta tres grupos de edades (proporcionadas del Censo) 0-14, 15-64 y 65 y más. Para obtener el número de población total de las manzanas se sumaron estos tres grupos y eso fue lo que se consideró como el total de habitantes por manzana. Después se realizó la suma se hizo lo siguiente:

- a) Se sumó el total de población por manzana

- b) Se calculó el porcentaje de menores de 14 años por manzana.
- c) Se calculó el porcentaje de mayores de 65 años por manzana.

Después se sumaron el porcentaje de niños y el de adultos mayores para obtener el porcentaje total de población sensible. Esto basados en el supuesto de que los dos grupos de edad son igualmente sensibles a los efectos de la inundación.

Infraestructura

➤ Por condición de equipamiento urbano

La evaluación de las condiciones de sensibilidad del equipamiento urbano se diseñó un procedimiento para su valoración y es mencionado a continuación.

Para obtener los valores con los cuales se determinó la vulnerabilidad del equipamiento urbano por sensibilidad se recurrió al método de ponderación en base a pesos, los cuales fueron asignados con el paquete Expert Choice 11, el cual se basa en un enfoque multicriterio de toma de decisiones.

Se asignaron pesos a cada uno de los elementos con base a la técnica de comparación de pares, la cual consiste en comparar dos elementos del equipamiento urbano y dar mayor valor a uno por sobre el otro, esto con base al razonamiento de que existen estructuras cuyo equipamiento (por condición de materiales) pueda ser más sensibles que otros (ver anexo 2, Tabla 3), definido a partir de la interpretación visual realizada.

Una vez terminada la comparación de pares, automáticamente el programa asignó un peso para cada elemento del equipamiento urbano delimitado.

Actividades económicas

Para este sujeto de vulnerabilidad no se contó con la información necesaria para realizar el análisis.

4.5.1.2.3 Evaluación de la vulnerabilidad relativa por resiliencia a inundación

Para la evaluación de resiliencia de los sujetos de vulnerabilidad se empleó información sobre la población.

Población

➤ *Por condición de edad*

Para construir este indicador se procedió a obtener el porcentaje de la población infantil (0-14 años), de la misma forma para la población de adultos mayores (>65 años). A partir de estos porcentajes se generaron capas de porcentaje de población infantil y de adultos mayores. Posteriormente se generó la cartografía correspondiente a la resiliencia por condición de edad, donde se considera a los niños con una mayor capacidad de recuperación que los adultos mayores.

➤ *Por condición de acceso a servicios de salud*

Asumiendo que la población menos resiliente, y por lo tanto más vulnerable, es aquella que no tiene seguridad social, se procedió a calcular la proporción de personas sin derechohabiencia, se obtuvieron datos de las personas que no contarán con acceso a servicios de salud, directamente de los resultados del Censo Nacional de Población de INEGI, 2010.

Para el cálculo de los valores del indicador, se dividió el número total de no derechohabientes entre el total de la población de la manzana.

➤ *Por condición económica*

Para la evaluación de esta condición se consideró la población desocupada como un indicador de ingresos económicos, es decir, se tomó a partir del supuesto de que la población que se encuentra laboralmente activa tiene la capacidad de reponerse más rápidamente que la población que no está desocupada y que no cuenta con una entrada de ingresos, y por lo tanto es menos vulnerable. Se

consideró este aspecto debido a que no se contó con la información sobre ingresos económicos en el censo de de población 2010.

Éste indicador se construyó de acuerdo a lo siguiente.

Se obtuvo el total de las personas que se encuentran desocupadas, después se dividió el total de personas desocupadas entre el total de población de la manzana.

4.5.1.2.2 Determinación de niveles de vulnerabilidad relativa y rangos estandarizados

Los valores con los cuales se fijaron los rangos estandarizados para establecer los niveles de vulnerabilidad relativa fueron determinados con base a los porcentajes locales para cada indicador, es decir, se tomó el total de población por manzana (nivel local) y a partir de eso se calcularon los valores de todos los indicadores. Los valores estandarizados se encuentran determinados en función del valor máximo en porcentaje de cada indicador (edad, derechohabiencia y económico) para la evaluación de la vulnerabilidad relativa por condición de sensibilidad y resiliencia.

Actividades económicas

Para este sujeto de vulnerabilidad no se contó con la información necesaria para realizar el análisis.

CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para conocer si la magnitud de las lluvias y de los sismos en la región pudieran ser factores detonantes del deslizamiento, se hizo un análisis de los datos disponibles de estos dos eventos naturales.

5.1.1 Precipitaciones

El clima, y en especial la lluvia, es uno de los detonadores naturales más importantes. En México, por ejemplo, eventos de deslizamientos importantes han ocurrido en temporada de lluvias principalmente, ya sea por tormentas tropicales o huracanes. Es por ello que se analizaron los datos de las precipitaciones registradas en el periodo de 1961-2013 en la estación 12091 ubicada en la ciudad Tlapa de Comonfort representados en una gráfica de precipitaciones medias y máximas (Figura 33).

5.1.1.1 Análisis de precipitaciones

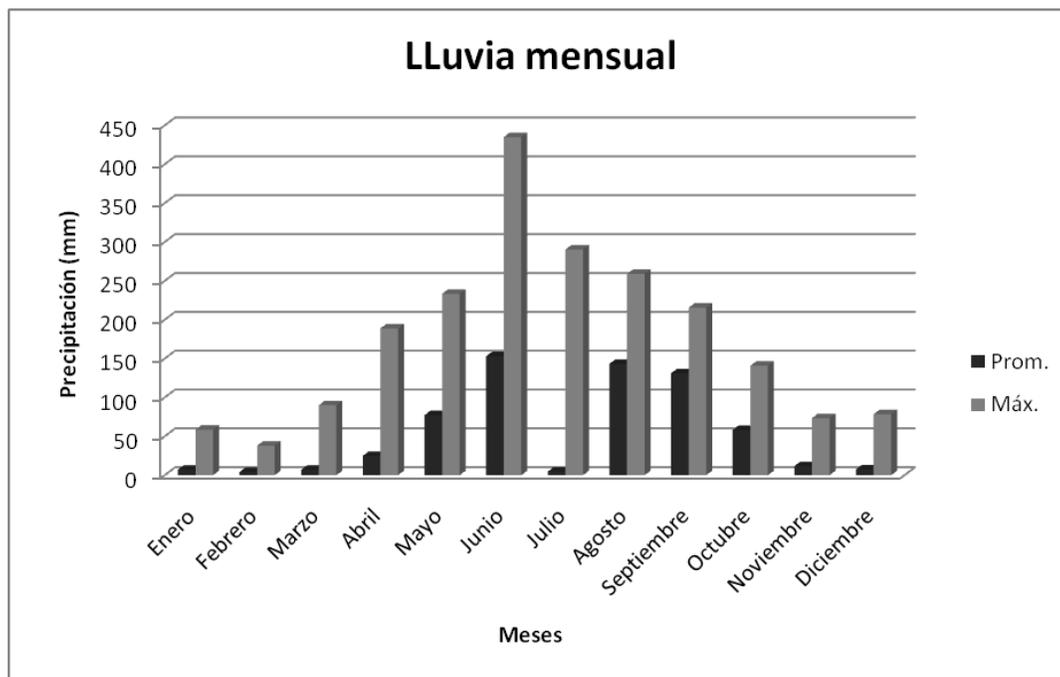


Figura 33. Análisis de precipitación mensual en comparación con los eventos máximos mensuales ocurridos en el periodo de 1961-2013.

La precipitación promedio para cada mes del periodo de 1961 al 2013, y los registros máximos registrados del acumulado mensual en ese periodo de tiempo, nos indica que el régimen de precipitaciones son en el verano en los meses de junio, julio, agosto y septiembre (Figura 33). El registro del evento máximo que se registra en ese periodo de tiempo se dio durante las lluvias del mes de junio con 148 mm ocurrida en el año 1989 lo cual coincide con lo reportado por CONAGUA en 2012, que mencionan que el huracán "Cosme" tocó tierra en la Costa Chica de Guerrero, en la localidad de Cruz Grande el día 21 de junio, mismo mes en el que con base a los datos del SMN fue el que en 48 años del periodo analizado mostró el valor máximo en cuanto a las lluvias mensuales, mientras que el acumulado máximo de precipitaciones se dio en el año 2000 para el mes de junio, donde las lluvias fueron abundantes y llegaron un total de 435 mm en ese mes, sin embargo esto 435 mm precipitaron en varios eventos distribuidos en todo el mes de junio (Figura 33).

La relación de la intensidad de las precipitaciones con respecto a la detonación de deslizamientos según los umbrales de precipitación media mensual (Tabla 11) (CENAPRED, 2013), se plantea que la probabilidad de que ocurra un deslizamiento aumenta en los meses de verano, estación donde la ocurrencia de lluvias es alta para esa zona. La probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento por precipitaciones máximas de acuerdo al periodo de datos analizados y al los umbrales del CENAPRED nos indica existe una probabilidad media de detonación de eventos de deslizamientos para los meses de abril, mayo, agosto y septiembre donde se han reportado días con eventos de lluvia que superan los 186.79 mm, mientras que para los meses de junio y julio las posibilidades son altas y muy altas cuando la lluvia supera el umbral de los 373.57, por ejemplo, durante los meses de donde existen registros de acumulados mensuales de 330 y 435 mm, particularmente para el mes de junio.

Umbrales de probabilidad	
Probabilidad	Umbral (mm)
Media	186.79
Alta	280.18
Muy Alta	373.57

Tabla 11. Umbrales de probabilidad de ocurrencia de deslizamiento por precipitaci3n media mensual (CENAPRED, 2013).

Por 3ltimo se realiz3 una b3squeda en diversas fuentes bibliogr3ficas donde se obtuvo informaci3n sobre la relaci3n entre las precipitaciones y los deslizamientos. En los cuales se encontr3 que la temporalidad de las precipitaciones para que pueda detonarse un deslizamiento seg3n estudios realizados en diversas partes del mundo como Durban, Taipei, Hong Kong, Medell3n, concuerdan en que para que pueda haber condiciones que propicien un deslizamiento debe haber un precedente de 3 hasta 5 d3as con un total de lluvia acumulada de 25 a 60 mm (Echeverri, 2004; Dai, 200; Larsen y Simon, 1993).

5.1.2 Sismicidad

5.1.2.1 An3lisis de sismicidad

La Rep3blica Mexicana se encuentra dividida en cuatro zonas s3smicas (A, B, C, y D), estas zonas son un reflejo de que tan frecuentes son los sismos en las diversas regiones y la m3xima aceleraci3n del suelo a esperar durante un siglo (SSN). El estado de Guerrero se encuentra inmerso entre las zonas D y C, de las cuales la zona D es donde se han reportado grandes sismos hist3ricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleraci3n de la gravedad (CENAPRED, 2006).

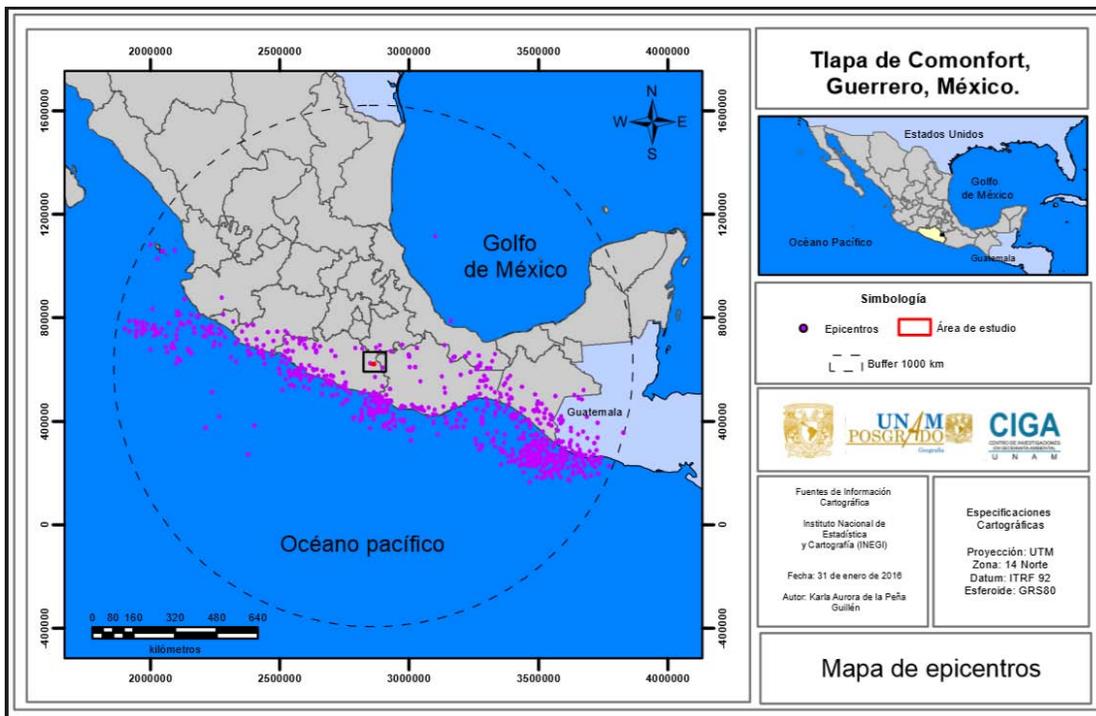


Figura 34. Mapa de epicentros

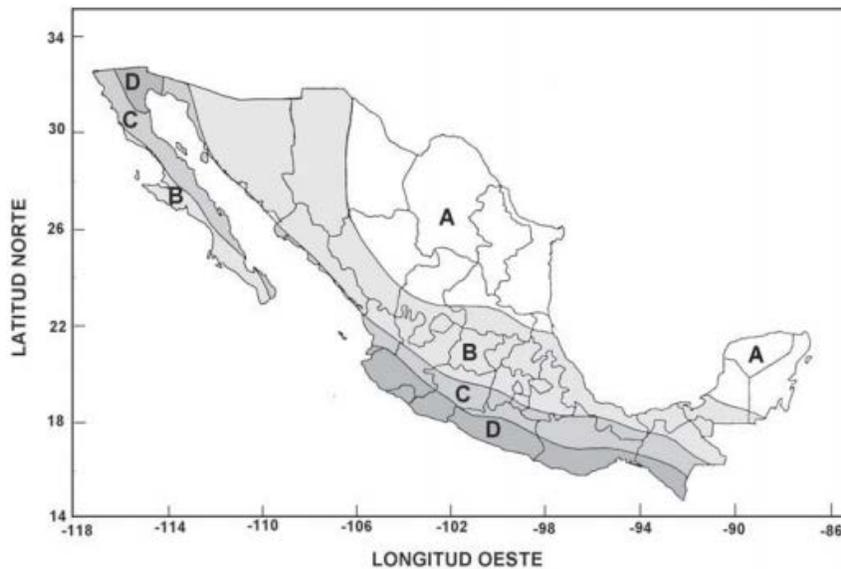


Figura 35. Regionalización sísmica de México (CENAPRED, 2006)

En su estudio sobre sismos históricos que han ocurrido alrededor del mundo Keefer (1984) realiza un análisis de patrones que haya en relación con estos sismos y la ocurrencia de deslizamientos en diferentes lugares del mundo. Para ello el autor basa su estudio en la distribución de los sismos y 5 parámetros sísmicos, los cuales a continuación se mencionan.

Distribución de deslizamientos y parámetros sísmicos

- 1.- Los sismos más pequeños que causan deslizamientos
- 2.- La relación entre la magnitud y el área afectada por deslizamientos
- 3.- La relación entre la magnitud y el máximo de distancia del deslizamiento con respecto a la zona del epicentro
- 4.- La relación entre la magnitud y el máximo de distancia del deslizamiento con respecto a la ruptura de falla.
- 5.- La intensidad de la vibración mínima que desencadena el deslizamiento.

1.- Sismos pequeños que causan deslizamientos

El autor menciona que existe una correlación entre la magnitud del sismo y la distribución de los deslizamientos, en el estudio realizado de los deslizamientos causados por sismos éste señala que, existe la probabilidad de que las áreas afectadas por eventos sísmicos se incrementen conforme la magnitud aumente, desde 0 con una magnitud de 4.0° hasta un área de $500,000 \text{ km}^2$ con una magnitud de 9.2°

El epicentro más cercano a la zona de estudio según los datos tomados del SSN es de 4.7° en escala de Richter, lo con base a la gráfica generada por Keefer no hay gran posibilidad de algún deslizamiento detonado con esa magnitud en el estudio de los 40 sismos históricos.

2.- La relación entre la magnitud y el área afectada por deslizamientos

Las áreas afectadas por deslizamientos están determinadas por la profundidad del sismo, el sitio del epicentro (en el mar o dentro del continente), las características del movimiento y el material geológico predominante.

Bajo este supuesto se plantea lo siguiente, en los cerros predomina la presencia de yesos y calizas, en tanto el resto del área de estudio se conforma por unidades de depósitos aluviales, volcanoclásticas, de areniscas, calizas y yesos. Haciendo una comparativa entre el material geológico analizado en el estudio realizado por Keefer et al., 2006 pero sobre los deslizamientos de tierra causados en Tecomán, México terremoto 7,6 M de 21 de enero, de 2003, donde en un análisis exhaustivo realizaron un inventario de los deslizamientos ocurridos por causa de este sismo, revela que de los 41 deslizamientos registrados 9 ocurrieron en zonas donde predominaban las calizas y uno en una zona dominada por los yesos.

3.- La relación entre la magnitud y el máximo de distancia del deslizamiento con respecto a la zona del epicentro

Con base a esta relación se plantea lo siguiente: en el caso del área de estudio encontramos (según el registro del SSN) que el epicentro más cercano se localiza a 21.57 km de Tlapa y corresponde a un sismo de 4.7° en escala de Richter, el epicentro se localiza a 6.63 km de la localidad de Chiepetepepec, Gro. Atendiendo a lo registrado en la gráfica (Figura 37) elaborada por Keefer y haciendo una comparativa entre los 40 sismos históricos estudiados y los deslizamientos de los cerros de La Cruz y Bola se puede decir que en ese rango de magnitudes hay pocas posibilidades de que se llegaran a detonar los deslizamientos. Sin embargo, también tenemos otras posibilidades de detonación con respecto al incremento de las magnitudes y relacionado con las distancias, es decir, cuanto más se incrementa la magnitud del sismo, mayor es la distancia que alcanzan sus efectos, por ejemplo, en la gráfica se puede interpretar que la mayoría de los sismos analizados se encuentran entre los 5.5 y 8.4° en escala de Richter a distancias de 22 y 202 km.

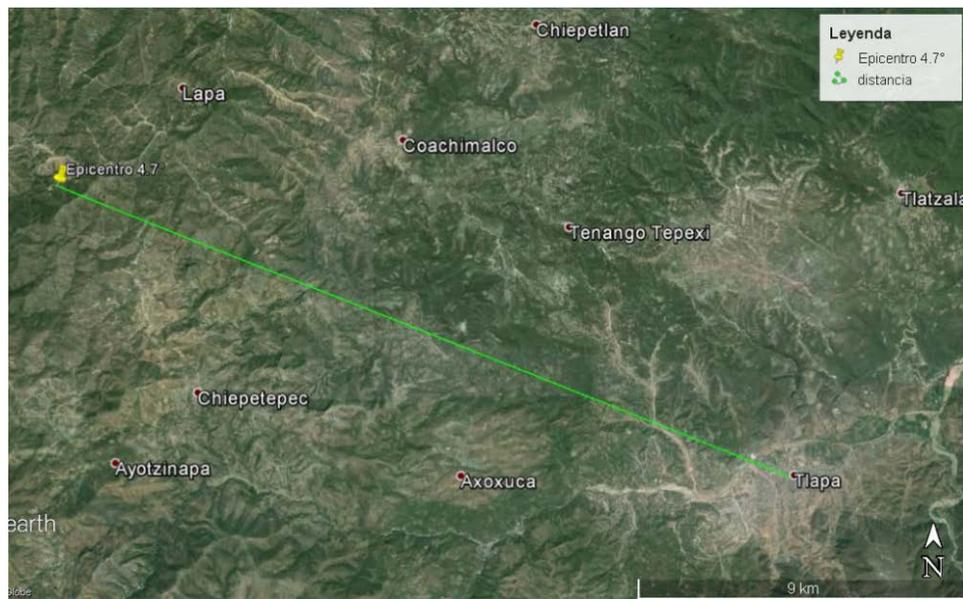


Figura 36. Distancia del área de estudio con respecto al epicentro

4.- La relación entre la magnitud y el máximo de distancia del deslizamiento con respecto a la ruptura de falla.

Para relacionar la magnitud del sismo y la máxima distancia con respecto al epicentro, también se utilizó como el trabajo realizado por Keefer, et al. 2006, en el cual realizaron un análisis del sismo de 7.6° con epicentro en Tecomán, Colima e hicieron un inventario de los deslizamientos ocasionados a consecuencia de este sismo. Los deslizamientos detonados ocurridos en zonas donde predominaban calizas y yesos se encontraron a una distancia mínima de 15 km y 62 km (Figura 36) la máxima, por lo que se plantea que en el caso particular del área de estudio es posible que un sismo pudiera ocasionar un deslizamiento.

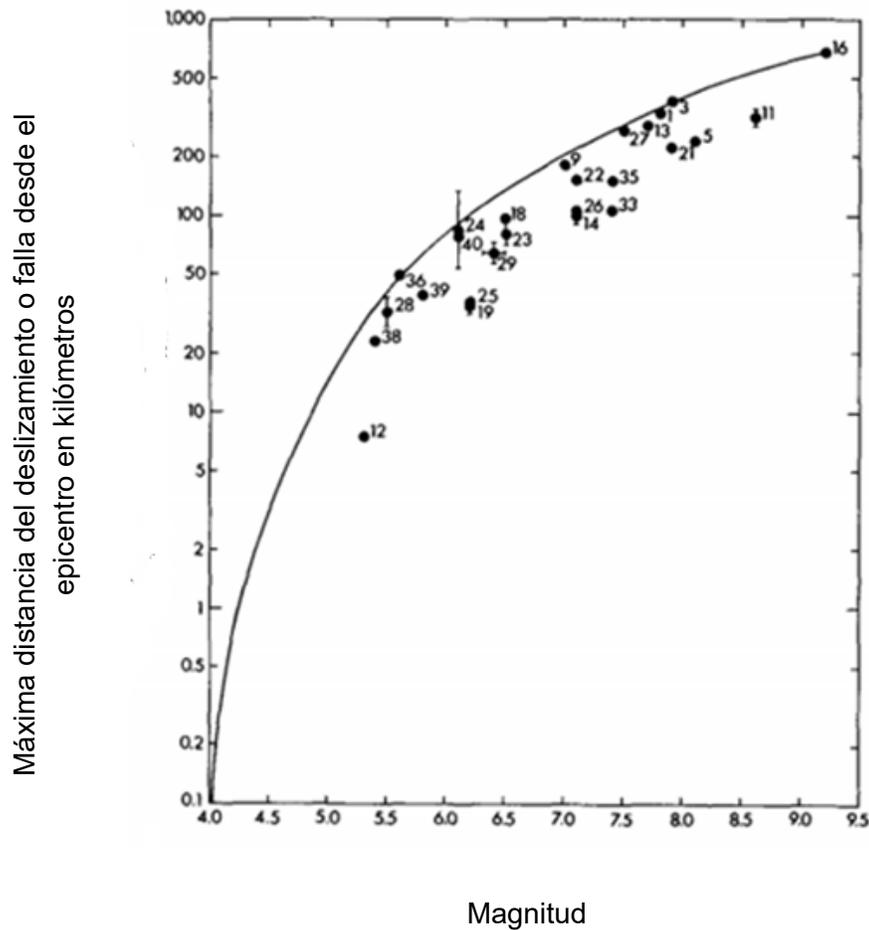


Figura 37. Distancia máxima desde el epicentro al deslizamiento por sismos de diferentes magnitudes (Keefer, 1984)

De esta última gráfica se infiere que es posible que los sismos en la región detonen el deslizamiento total de los cerros si ocurren con suficiente magnitud y a una distancia relativamente corta. Por ejemplo, un sismo de 6.5 ubicado a 5 km, podría detonar el deslizamiento.

5.- La intensidad de la vibración mínima que desencadena el deslizamiento.

Numerosas escalas de intensidad se han ideado para caracterizar la gravedad de los sismos el uso de la percepción humana, el movimiento de los objetos, el daño a las estructuras de ingeniería, deslizamientos de tierra, y otras fallas del terreno.

Para conocer la aceleración máxima del suelo particularmente en la zona de estudio, fue necesario conocer la velocidad y desplazamiento máximo del sismo, es por eso que fueron representadas cartográficamente para su mejor entendimiento. Las velocidades obtenidas fueron reportadas en m/s^2 , tomando en cuenta epicentros en Guerrero, Puebla y Oaxaca, los cuales fueron mayores de 5 grados. Las velocidades se encuentran en un rango que va desde $1 m/s^2$ hasta los $30.6 m/s^2$ en vertical, siendo las de este último valor las que corresponden a las de mayor velocidad.

La mayoría de las velocidades con este valor se encuentra en las zonas costeras de los estados de Guerrero y Oaxaca.

Para interpretar las aceleraciones es necesario tomar en cuenta que éstas se relacionan con la magnitud del sismo y no como una medida de la energía total liberada como la escala de Richter. Por otro lado existe una correlación con la escala de Mercalli ya que esta mide la intensidad de un sismo según los daños que produce y que tiene relación con la velocidad del mismo. Normalmente, esta escala es directamente relacionable con la intensidad, y la intensidad a su vez con las aceleraciones y la velocidad sísmica (Earthquake Hazards Program. USGS, 2011).

Los resultados obtenidos de las velocidades sísmicas se encuentran representadas cartográficamente, dando como resultado una concentración mayor de epicentros en la zona costera entre Guerrero y Oaxaca con un total de 25 epicentros los cuales se encuentran a diferentes magnitudes que va de 5° a 7.3

En el mapa de las velocidades se observa que la ciudad de Tlapa de Comonfort se encuentra en una zona donde las velocidades van desde los 1 y $10.9 m/s^2$, entre magnitudes de entre 4 y 6° , lo que con base a la escala de Mercalli (ver anexos, 02, Tabla 2) representa lo siguiente: intensidad de leve a una velocidad de 1 a $4.3 m/s^2$ con ningún potencial de daño; de 4.3 a $7.6 m/s^2$ con una intensidad moderada y potencial de daño muy leve; y de 7.6 a $10.9 m/s^2$ con una intensidad fuerte y potencial de daño leve.

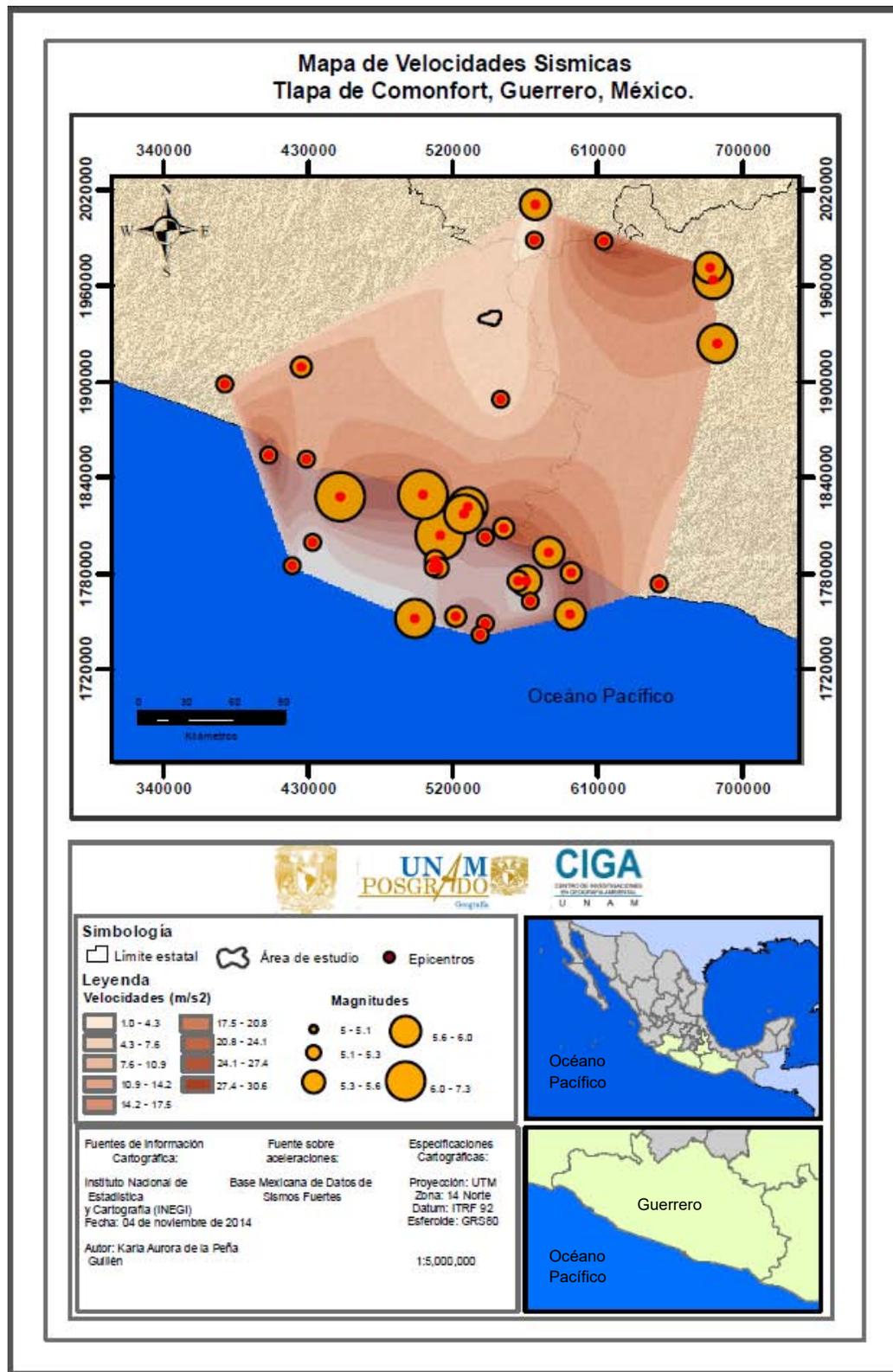


Figura 38. Velocidades sísmicas

5.1.3 Caracterización de los cerros de La Cruz y Bola

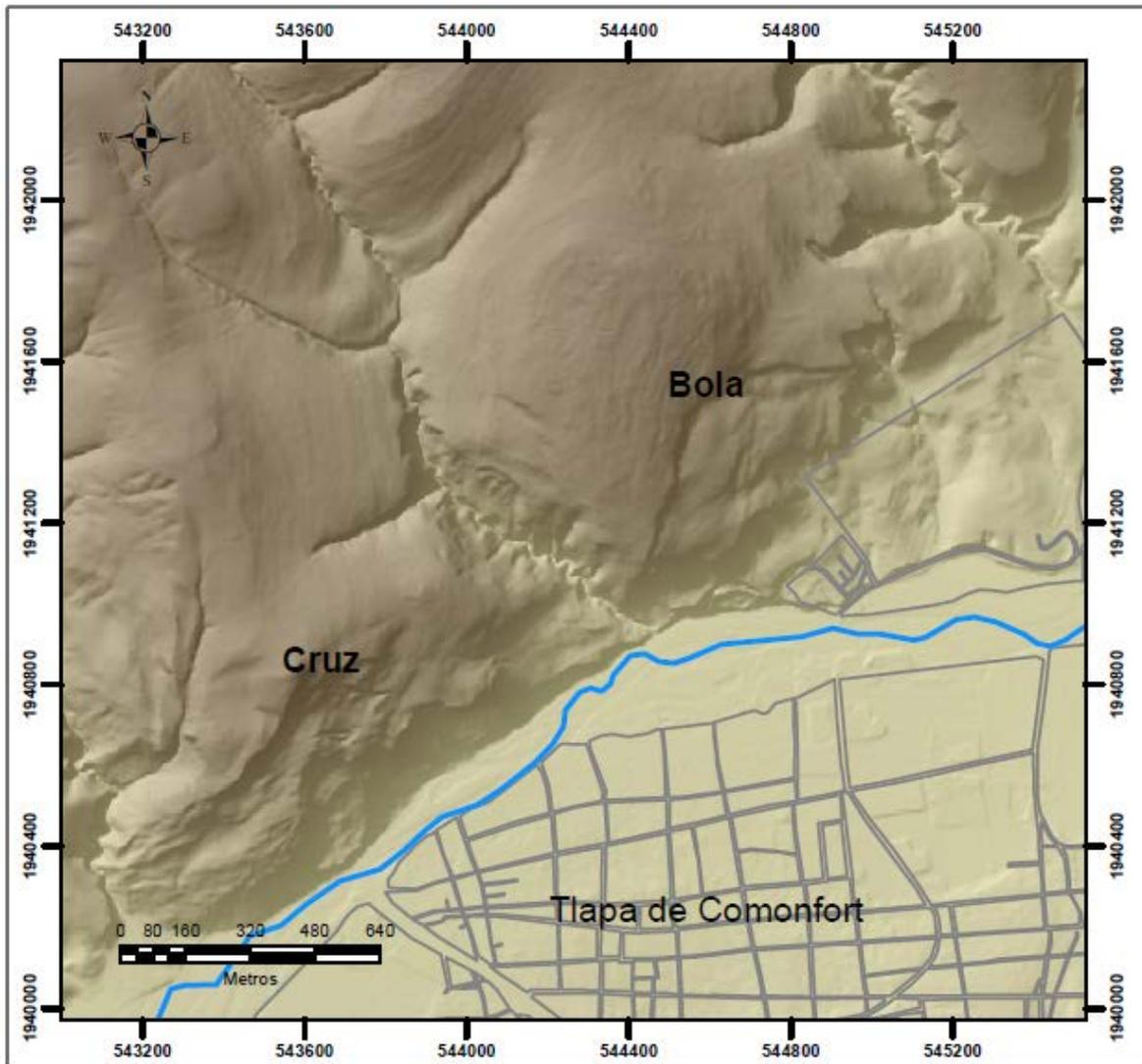


Figura 39. Cerros de La Cruz (izquierda) y Bola (derecha)

Los Cerros de La Cruz y Bola miden 329 y 375 m respectivamente y tienen características muy específicas que los hacen únicos en la zona. Son domos de yeso, cuyo origen viene de la existencia de masas de sales como yeso, acumulados en estratos, estos yesos tienden a ascender debido a su baja densidad relativa, y en ascenso tienden a provocar inestabilidad del terreno.

La formación de estos cerros se debe a un proceso de diapirismo, que es un proceso mediante el cual una masa relativamente móvil hace intrusión a las rocas

preexistentes, en este caso la formación de ambos cerros debe a los movimientos ascendentes del depósito de yeso (movimientos halocinéticos⁷), originados por la menor densidad de la sal respecto a los materiales encajantes (calizas).

También podemos encontrar en ambos cerros algunos estratos de calizas intercalados entre los estratos de yeso, pero debido a la presencia de este último se ha generado un microrelieve de lapiaz (ver anexo 01, figura 15), el cual es generado por la disolución de carbonatos por el agua.

Para la clasificación de pendientes hay una variación de entre los 6°, que serían las zonas más planas, hasta las más abruptas con pendientes que van desde los 41 hasta los 78°, las cuales son las más predominantes. Bajo el contexto de la inestabilidad de laderas, se puede deducir que al ser más predominantes estas pendientes pronunciadas hay mayor posibilidad de ocurrencia de un evento de deslizamiento, ya que el papel que juegan las pendientes es determinante para la ocurrencia de un evento de este tipo.

5.1.4 Análisis de la deformación

5.1.4.1 Estructuras del Cerro de La Cruz

La morfología del Cerro de La Cruz presenta múltiples elementos estructurales (Figura 40), los cuales fueron clasificados como: escarpe, fractura, y fractura inferida.

En el mapa morfológico se identificaron escarpes de diferentes temporalidades, algunos muy recientes donde la tierra aún permanece inestable y aún hay caída de rocas, mientras que en los más viejos hay un notable crecimiento de vegetación y el escalón formado por el escarpe se ve, en apariencia, más estabilizado y moldeado por los fenómenos climatológicos.

⁷ Mecanismo tectónico que es propio de las rocas evaporíticas, dando lugar a estructuras particulares como diapiros, domos.

En relación con las fracturas que se exponen como las de mayor presencia después de los escarpes, cubren en su mayoría la parte norte del cerro. La fractura principal se encuentra a una altura de 313 m con respecto a la planicie fluvial. En la cima de este cerro se presenta un corte cóncavo producido por el desplazamiento de la masa rocosa, cuya longitud es de aproximadamente 713 m en corte horizontal.

5.1.4.2 Estructuras del Cerro Bola

En lo que respecta a la morfología del cerro Bola, de igual forma que el Cerro de La Cruz, se presentaron como elementos estructurales los escarpes y la fracturas (Figura 41), estas últimas localizadas en su mayoría sobre la parte superior del cerro y la cara frontal, mientras que los escarpes se encontraron distribuidos en su mayoría sobre la cara lateral oeste, la cara frontal y una fractura inferida sobre la cara lateral este. El escarpe principal se encuentra a 293 m con respecto a la base del cerro.

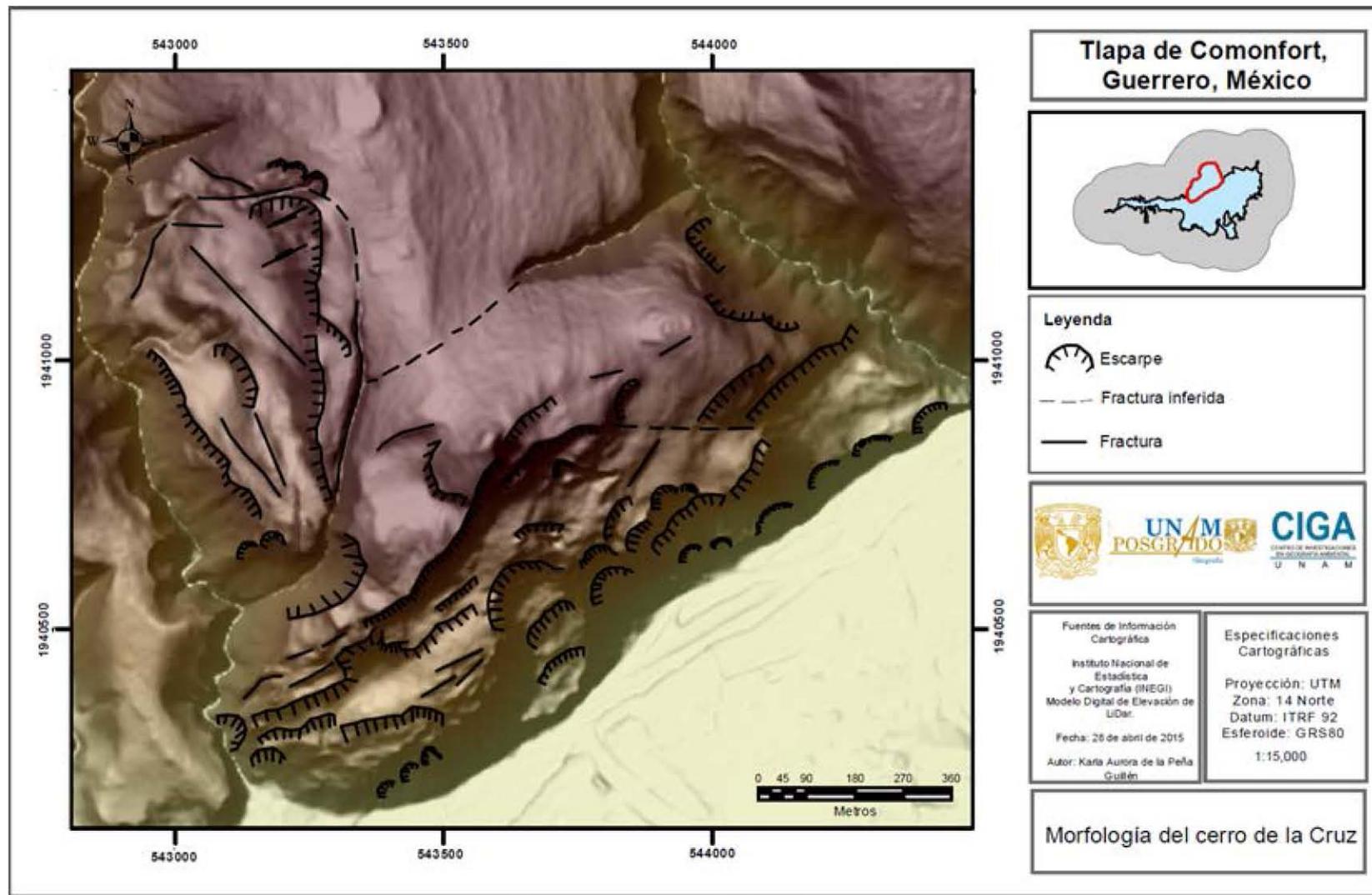


Figura 40. Morfología del Cerro de La Cruz

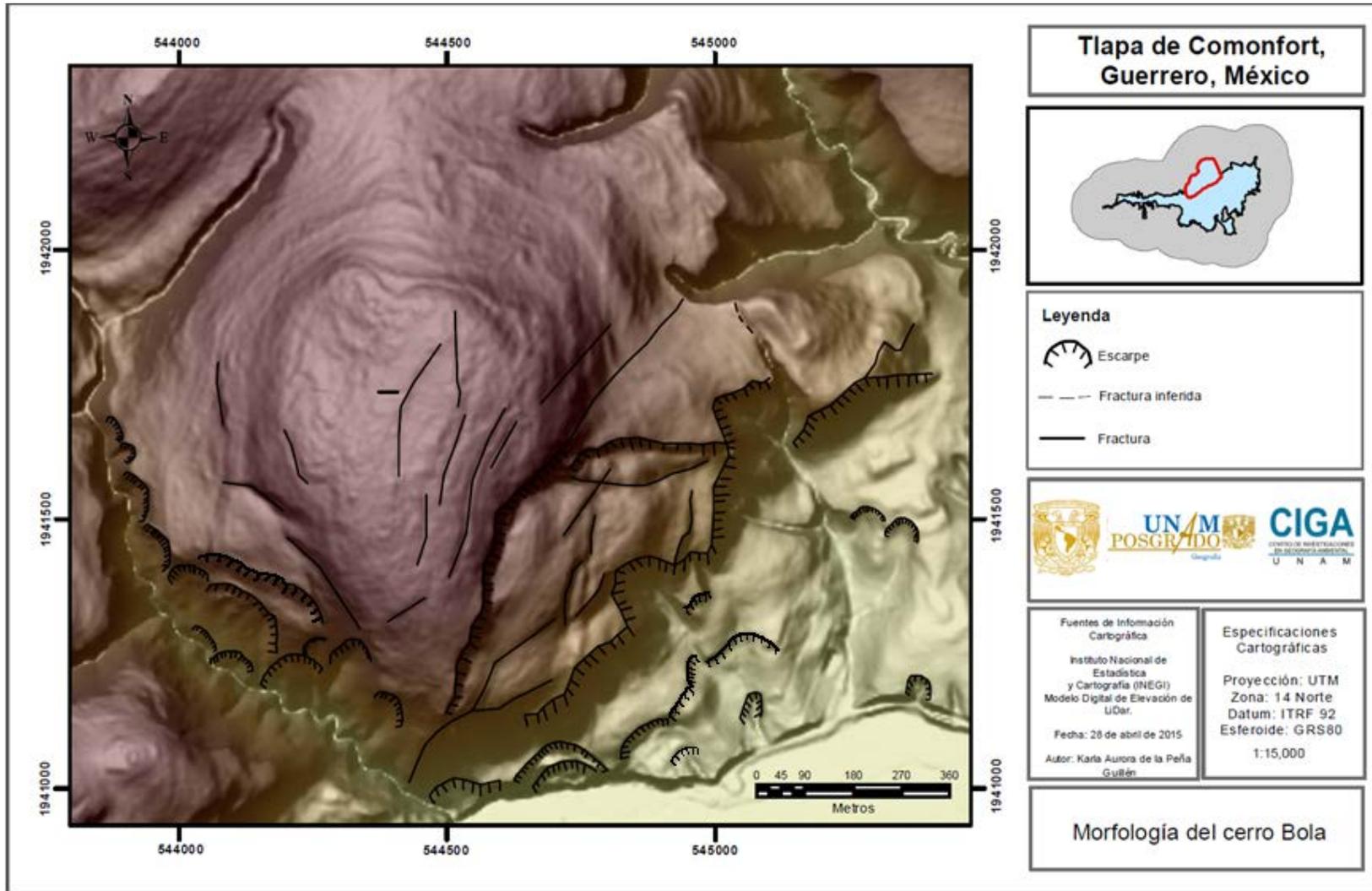


Figura 41. Morfología del Cerro Bola

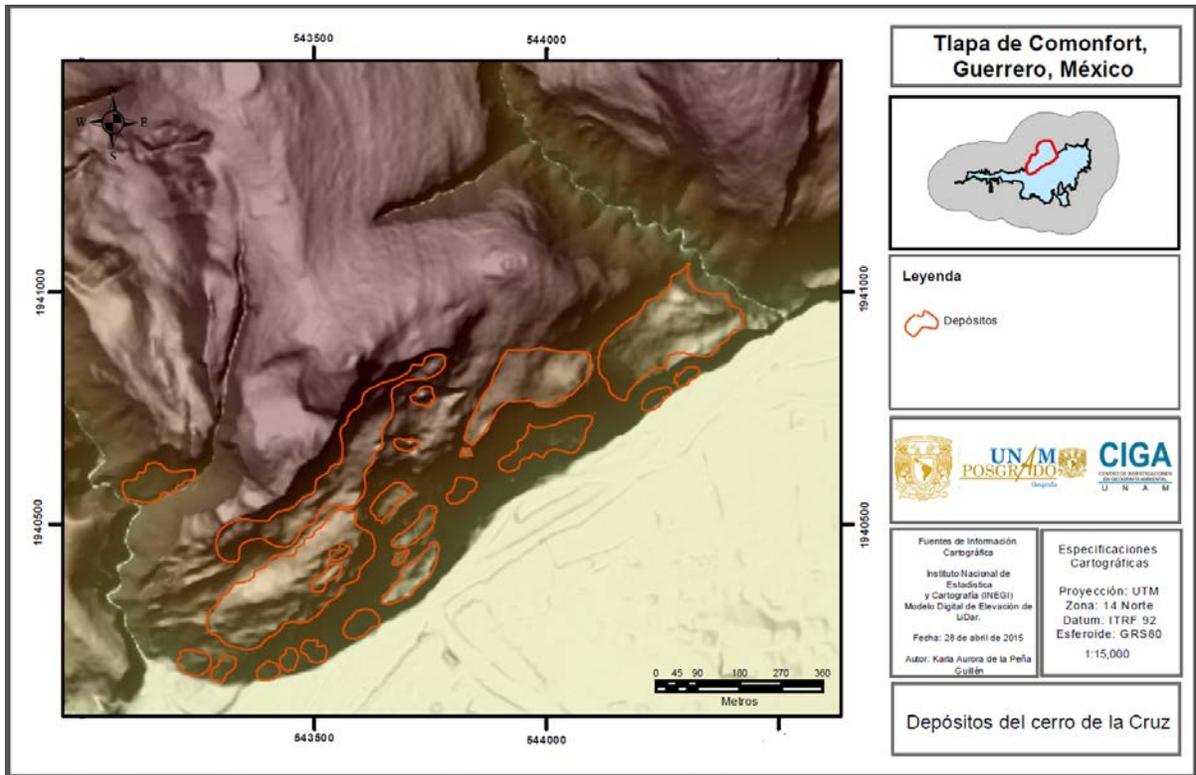


Figura 42. Depósitos de ladera del Cerro de La Cruz

En lo que se refiere a los depósitos de ladera del Cerro de La Cruz se encontraron una cantidad considerable de ellos, provocados por el abatimiento de algunas partes de la ladera frontal, esto debido al efecto de factores como las fuertes lluvias y la vibración que provocan los sismos, aunados a la inestabilidad que ofrece la pendiente tan pronunciada del cerro, que va en general desde los 41 a los 78°.

Nótese (Figura 42) que algunos de los depósitos están como en secuencia, es uno tras otro sobre el mismo eje, es decir, en algún momento hubo un primer desplazamiento que como consecuencia dejó un depósito al que se le podría llamar inicial o primario y sobre este depósito siguieron generándose desplazamientos a consecuencia de la lluvia o los sismos hasta generar nuevos depósitos y escarpes a partir de uno ya existente.

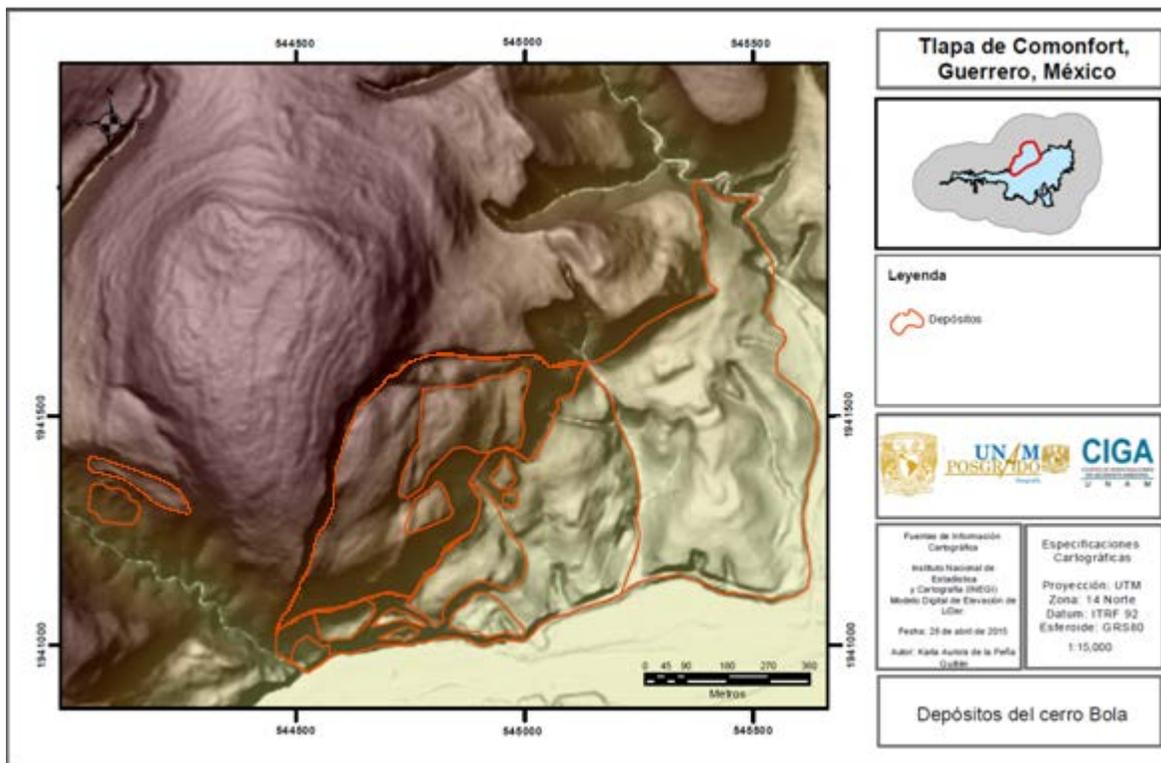


Figura 43. Depósitos de ladera en el Cerro Bola

En referencia a los depósitos encontrados para el cerro de la Bola tienen una cierta similitud en lo que respecta a los depósitos consecutivos del Cerro de La Cruz. Se tiene un macizo rocoso de tamaño considerable que se ha movido dejando como huella de dicho desplazamiento el escarpe principal y sobre el depósito dejado por este, se produjeron una serie de desplazamientos dejando sus respectivos depósitos, pero más pequeños en comparación con el depósito principal (Figura 43).

Para este cerro el depósito más grande encontrado tiene una longitud de 252 m.

5.1.5 Resultados de calibración de los sensores del dispositivo

Para la calibración del movimiento registrado por la placa se efectuaron una serie de inclinaciones del dispositivo, a diferentes ángulos (a cada 10°), con lo cual la placa fue registrando valores diferentes tanto en X y Y conforme se cambiaba la inclinación.

Grados de Inclinaci3n de la placa	Valores reportados por el aceler3metro	
	Pitch (X)	Roll (Y)
1	3.9	179.9
10	6.8	168.6
20	16.9	158.2
30	27.4	148.5
40	37.9	138.8
50	48.3	128.4
60	59.7	118.3
70	69.4	109.3
80	79.1	99.6
90	89.3	89.9

Tabla 12. Resultados obtenidos para la calibraci3n.

Los resultados obtenidos en la calibraci3n del aceler3metro muestra los grados de inclinaci3n en relaci3n a lo reportado por el sensor, el punto inicial o de referencia es 3.9° para el eje de las X (Figura. 44) y 179.9° en el eje de las Y (Figura. 45) de inclinaci3n de la placa.

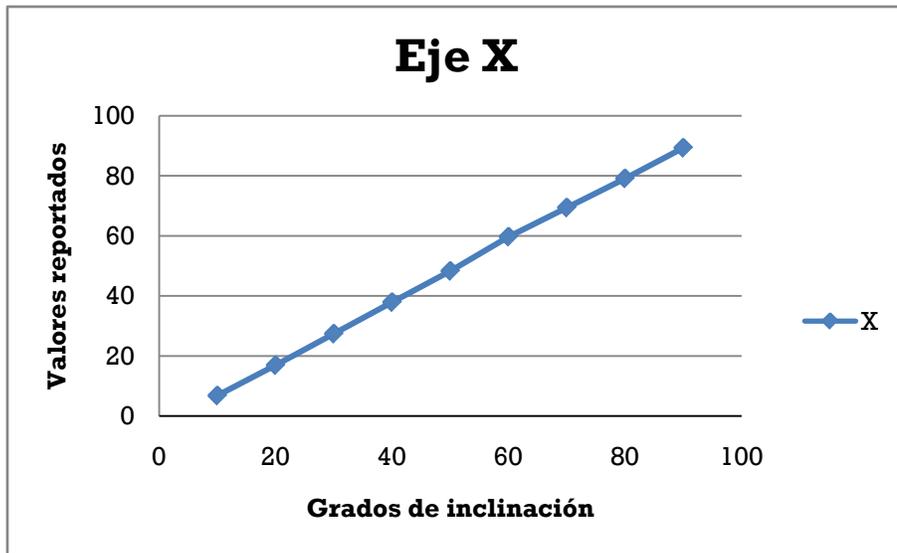


Figura 44. Gráfica de movimientos angulares durante la calibración de los sensores en conjunto. Datos obtenidos para el eje de las X.

El comportamiento de los valores es lineal, lo que es el comportamiento esperado y parte desde un punto de reposo (horizontal), y es sólo cuando existe un movimiento en la inclinación del objeto de prueba que hay un cambio gradual de aproximadamente 10 unidades que da inicio desde 3.9°.

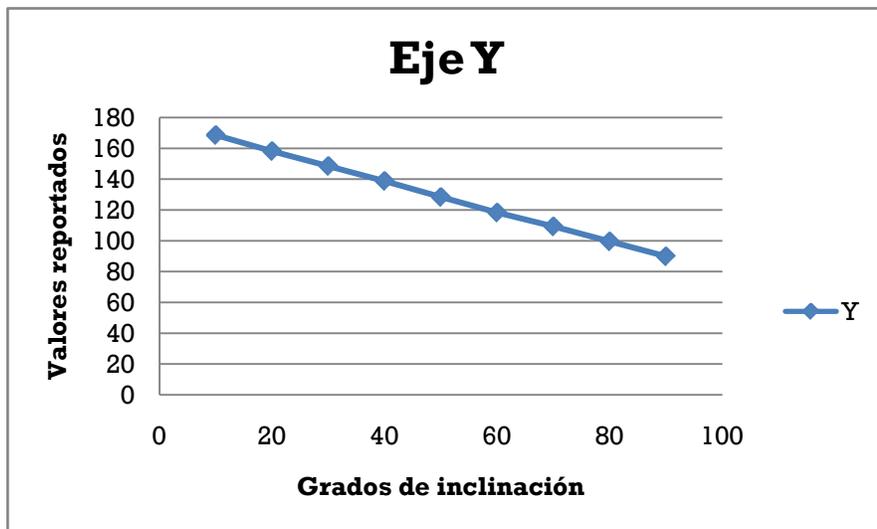


Figura 45. Gráfica de movimientos angulares durante la calibración de los sensores en conjunto. Datos obtenidos para el eje de las Y.

En esta gráfica como en la anterior se muestra una tendencia lineal en los valores resultantes de la prueba piloto, para este caso el eje de las Y, donde el punto inicial de la placa en reposo (horizontal) era de 179.9 y posteriormente fueron mostrándose cambios graduales de aproximadamente 10 unidades conforme se cambiaba la inclinación de objeto de prueba.

5.1.6 Prueba en campo de los sensores

Se colocó la placa, en una posición inicial conocida, sobre un montículo de tierra (con el eje de las X horizontal a la dirección del movimiento) el cual fue sometido a vibraciones, por impacto de un objeto pesado a diferentes distancias, con el fin de simular un movimiento sísmico (factor detonante).

Distancia de impacto (m)	Grados de inclinación sexagesimal	
	Pitch (X)	Roll (Y)
4	7.0	141.3
4	6.9	141.3
2	6.9	141.3
2	6.9	141.4
2	6.9	141.4
1	6.8	141.5
1	6.6	141.5
.50	6.6	141.6
.50	6.4	141.5
.50	6.4	141.5
.50	6.4	141.5
.50	6.5	141.5
.50	6.0	141.6
.50	5.6	141.6
.50	5.7	141.7
.50	5.7	141.7
.50	6.3	141.9
.50	6.5	141.9
.50	6.6	142.1
.50	6.7	142.1
.50	8.7	142.3
.50	8.7	142.3
.50	8.7	142.9
.50	10.9	144.2

.50	12.1	144.5
.50	12.2	144.9
.50	13.4	144.2

Tabla 13. Resultados obtenidos de la prueba para el eje Y colocado perpendicularmente al sentido de la pendiente.

Como muestra la tabla 13, aun cuando los sensores son lo suficientemente sensibles para detectar vibraciones pequeñas, solo para vibraciones relativamente intensas provocadas por impacto a corta distancia (50 cm) se observan cambios significativos en el movimiento registrado por la placa, de hasta 1.2 grados para el eje X y de 1.3 grados en el eje Y. También se observa que en total, el movimiento registrado y que se tradujo en un cambio de las posiciones inicial y final de la placa, si fue significativo, de hasta 6.4 grados en el eje X, y de menor magnitud, 3.9 grados, en el eje Y (Figura 46).

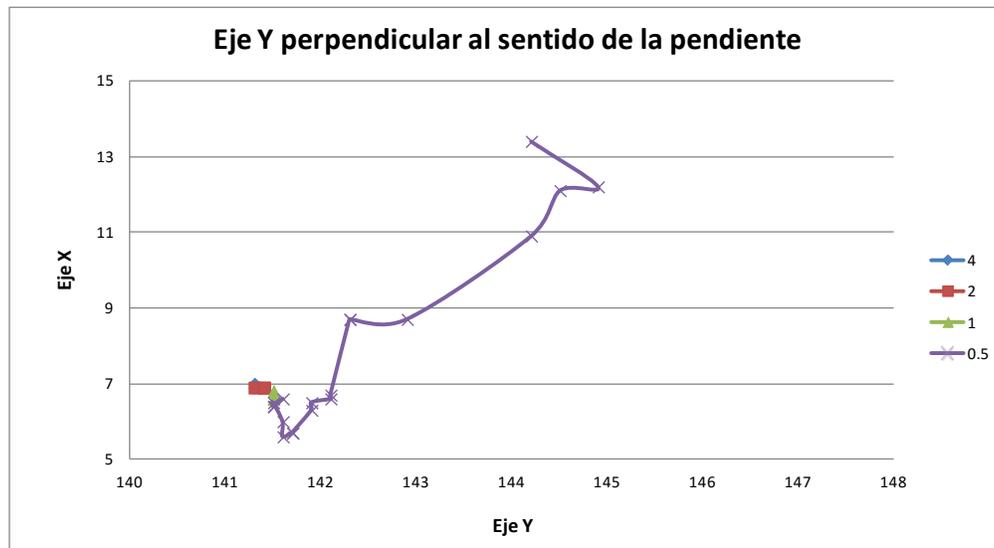


Figura 46. Movimiento relativo de la placa sobre un montículo de tierra sujeto a vibraciones, con el eje Y de la placa perpendicular a la pendiente del montículo. Los valores en la leyenda de la gráfica representan distancias a las que se lanzó el objeto productor de vibraciones.

Distancia de impacto (m)	Grados de inclinación sexagesimal	
	Pitch (X)	Roll (Y)
4	41.7	175.5
2	41.5	175.5
2	41.7	175.1
1	41.6	176.0
1	41.4	175.7
1	41.4	175.8
.50	41.2	175.9
.50	40.4	175.7
.50	40.4	175.4
.50	39.8	173.1
.50	38.2	173.7
.50	37.7	171.9
.50	37.2	171.4

Tabla 14. Resultados obtenidos de la prueba para el eje X colocado perpendicularmente al sentido de la pendiente.

En la Tabla 14 se observan resultados similares. Los sensores son capaces de registrar pequeños movimientos de la placa cuando las vibraciones son producto de un impacto lejano, pero alcanzan hasta 1.6 grados en el eje X, y 2.3 en el eje Y cuando las vibraciones son producto de impactos a corta distancia.

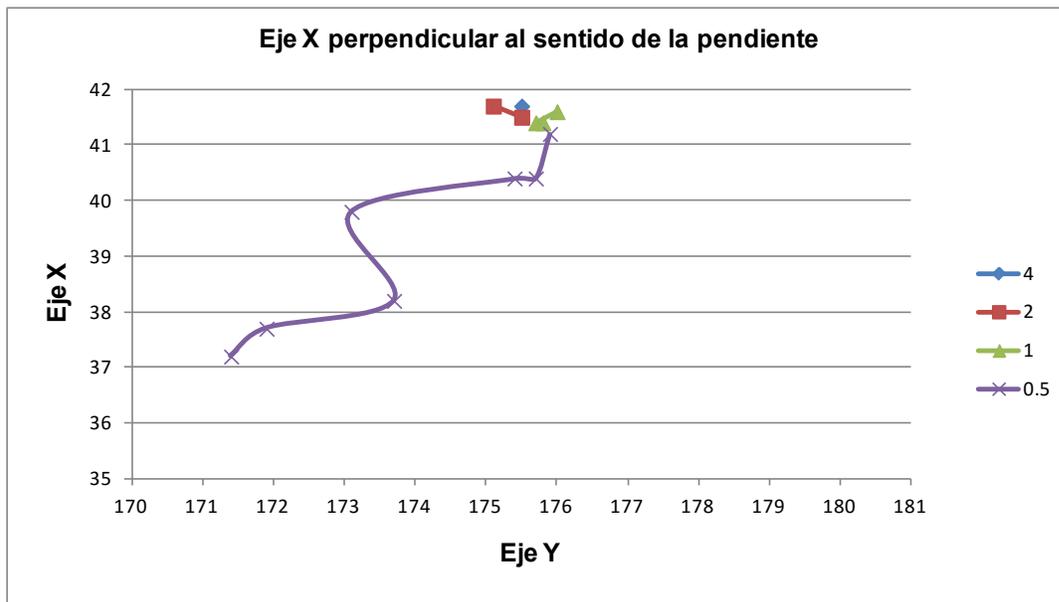


Figura 47. Movimiento relativo de la placa sobre un montículo de tierra sujeto a vibración, con el eje X de la placa perpendicular a la pendiente del montículo. Los valores en la leyenda de la gráfica representan distancias a las que se lanzó el objeto productor de vibraciones.

5.1.7 Instalación del sensor

➤ *Ubicación del sitio de instalación*

El lugar elegido fue un punto con las coordenadas $X= 543,602$ $Y=1,940,802$ $Z=1,354$ con orientación de la cara frontal del Cerro de La Cruz al sureste (111.5 grados de azimuth), y casi a 90 grados de inclinación sobre la ladera, libre de interferencias magnéticas. Este punto se ubica aproximadamente a una distancia de 1036 m en línea recta desde el punto de instalación de los sensores hasta la base de recepción (Figura 48) en el cual se encontró mayor estabilidad relativa, y se determinó como el más adecuado para poder realizar el monitoreo de manera experimental.

➤ *Acceso y preparación del sitio de instalación*

Para lograr acceder al sitio de instalación de los sensores fue necesario utilizar equipo especial de escalada en roca, y el apoyo de un profesional en la materia (Figura 49), una vez llegado al sitio seleccionado se procedió a la limpieza de la

donde la caja de polipropileno con los sensores fue adherida a la pared de yeso de la ladera con clavos de acero para concreto, pegamento de alta adhesión y cuerda para así poder asegurar el equipo (Figura 50).

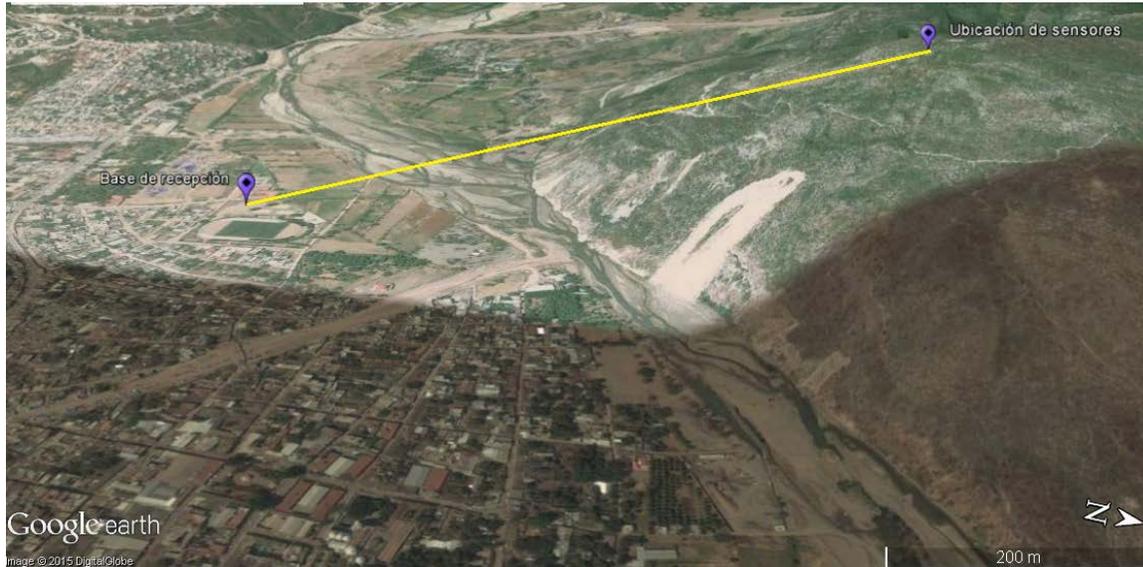


Figura 48. Localización del sitio de instalación de los sensores. La línea amarilla representa una distancia de 1036 metros.



Figura 49. Preparación del equipo de seguridad para comenzar el descenso al sitio seleccionado para el montaje de los sensores



Figura 50. Limpieza del sitio donde se realizó el montaje y montaje de los sensores.



Figura 51. Lapiaz producido por efectos de la lluvia



Figura 52. Vista desde el sitio de montaje de los sensores hacia el sitio donde se localiza la base receptora (a la derecha del campo de fútbol).



Figura 53. Posición final del montaje sobre la pared de yeso.



Figura 54. Perspectiva de la pared de yeso, del cual está conformado casi en su totalidad el Cerro de La Cruz.

5.1.8 Presentación y almacenamiento de datos obtenidos

A continuación se presenta un extracto de los registros que se obtuvieron en la estación receptora (a 1036 m de distancia de la placa) después de haberse instalado el dispositivo sobre el Cerro de La Cruz. El dispositivo registra 30

mediciones por segundo. Como la placa se encuentra teóricamente en reposo, se aprecia que el "ruido" de la señal es de hasta de 2 décimas de grado para la orientación de la placa (Yaw), y de menos de 1 décima de grado para los ejes X (Pitch) y Y (Roll).

Fecha	Hora	Yaw	Pitch (X)	Roll (Y)
17/12/2015	15:40:03	111.59	11.4	-98.06
17/12/2015	15:40:03	111.6	11.38	-98.08
17/12/2015	15:40:03	111.53	11.39	-98.1
17/12/2015	15:40:03	111.52	11.37	-98.12
17/12/2015	15:40:03	111.49	11.35	-98.09
17/12/2015	15:40:03	111.47	11.36	-98.08
17/12/2015	15:40:03	111.49	11.35	-98.12
17/12/2015	15:40:03	111.49	11.35	-98.14
17/12/2015	15:40:03	111.51	11.29	-98.21
17/12/2015	15:40:03	111.55	11.3	-98.21
17/12/2015	15:40:03	111.56	11.32	-98.22
17/12/2015	15:40:03	111.58	11.42	-98.16
17/12/2015	15:40:03	111.53	11.38	-98.17
17/12/2015	15:40:03	111.52	11.37	-98.16
17/12/2015	15:40:03	111.52	11.32	-98.16
17/12/2015	15:40:03	111.56	11.34	-98.13
17/12/2015	15:40:03	111.56	11.32	-98.1

Tabla 15. Extracto de los datos obtenidos una vez instalado el dispositivo

La tabla muestra los registros obtenidos en un tiempo posterior a la instalación del dispositivo en el cerro de La Cruz (17 de diciembre de 2015). Podemos observar que se registró con exactitud la fecha y la hora de cada movimiento, así como los valores sexagesimales del dispositivo durante la transmisión de datos. Es importante señalar que los ejes X y Y han sido sustituidos por los términos Pitch (X), Roll (Y) y Yaw (orientación con respecto al norte magnético). Los resultados

presentan la variabilidad normal en los sensores, atribuible al "ruido" generado por el procesamiento de la señal original de los sensores.

El análisis de los datos obtenidos de la prueba posterior a la instalación del dispositivo, muestra que los sensores pueden medir el tiempo y el espacio desde la posición de los sensores con gran precisión. Este análisis se realizó con base a la calibración realizada en laboratorio y campo del dispositivo, donde los valores mostrados en la tabla 15, aunque muestran que la caja está colocada casi verticalmente sobre la cara del cerro, significa que el Eje X de la placa se encuentra a $11^\circ (+)$ (Figura 55) de inclinación, es decir, casi horizontal, mientras que el eje Y de la placa, con valores de -98, reflejan una posición casi vertical. (Figura 56). Por lo que se puede deducir en dado caso de que algún evento sísmico o de precipitaciones se diera en la zona de estudio y tuviera un impacto importante sobre el Cerro de La Cruz, estos movimientos se verían reflejados en los datos correspondientes a fecha en determinada hora y podría realizarse una estimación aproximada de eventos que propician los movimientos y la forma en la que estos se dan.

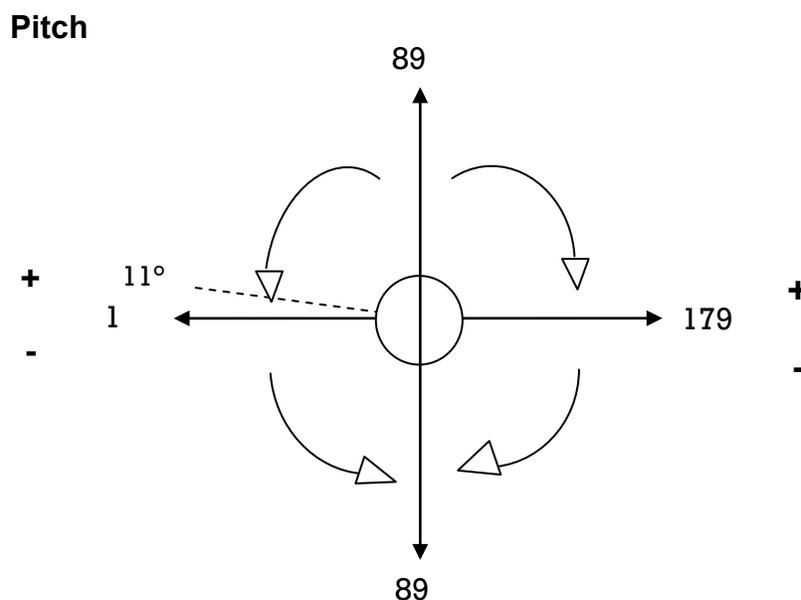


Figura 55. Diagrama de análisis de posicionamiento de Pitch (X) sobre el Cerro de La Cruz.

Con respecto a Roll (Y), también se realizó el análisis tomando como referencia los resultados de la calibración, en este caso se mide el ángulo sobre el cual quedó posicionado el dispositivo, el cual un ángulo de -98° lo que representa que la placa se encuentra inclinada hacia la derecha.

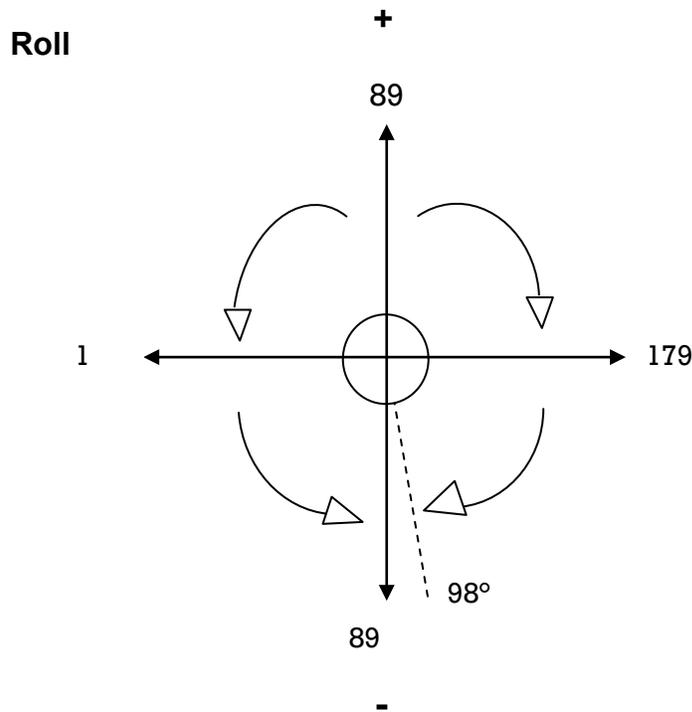


Figura 56. Diagrama de análisis de posicionamiento de Roll (X) sobre el cerro de La Cruz.

Para los movimientos registrados sobre la orientación (Yaw) de la placa, la posición es con orientación hacia el sureste, ya que el ángulo registrado es de 111° , lo cual concuerda con la orientación general de laderas del Cerro de La Cruz.

5.1.9 Perfiles topográficos de los Cerros de La Cruz y Bola.

En esta sección se describen los perfiles realizados para cada cerro, con el objetivo de representar de manera visual la topografía de los Cerros de La Cruz y Bola.

5.1.9.1 Perfiles del Cerro de La Cruz

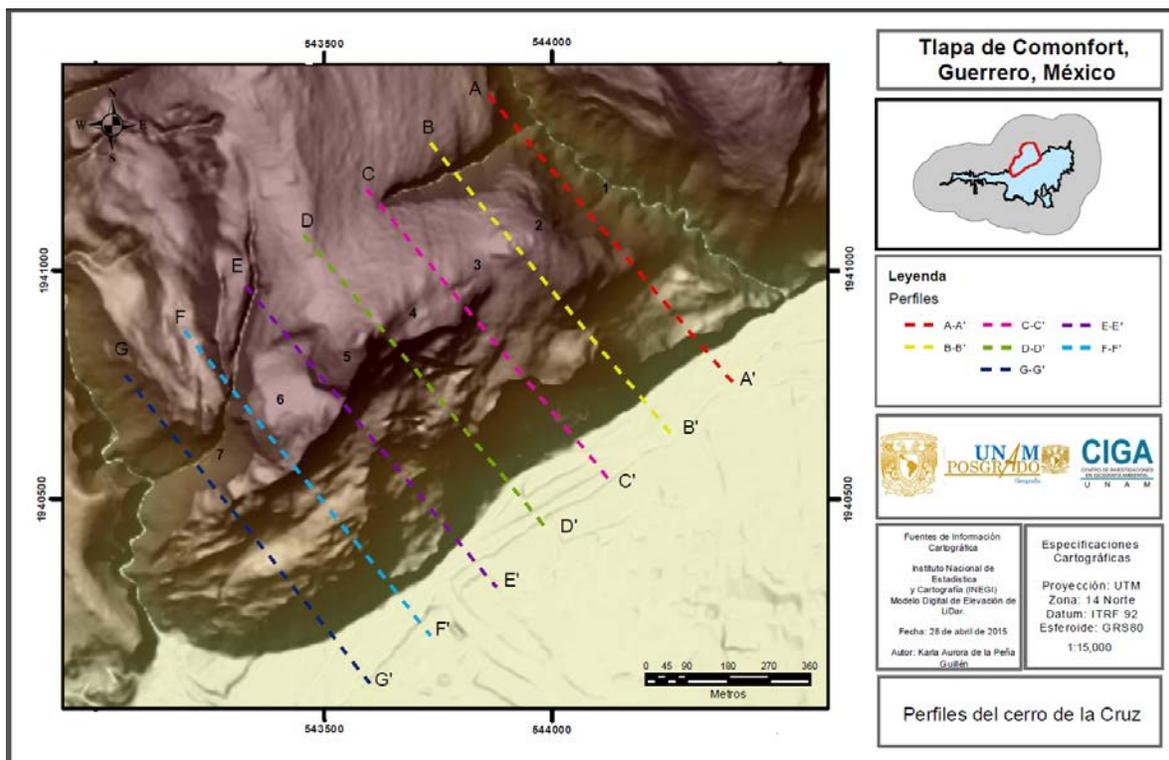


Figura 57. Mapa de ubicación de perfiles del Cerro de La Cruz.

Perfil 1

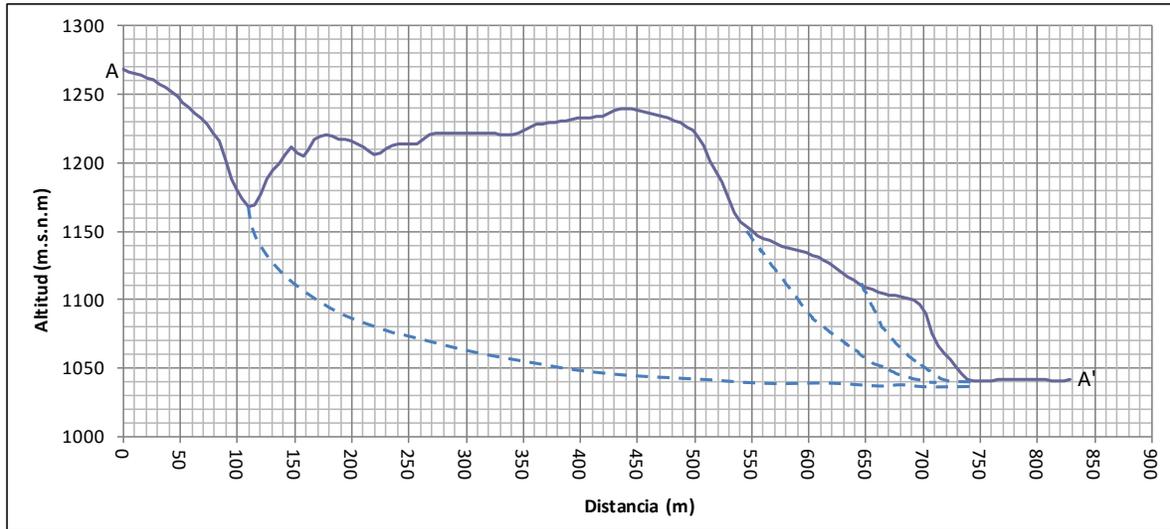


Figura 58. Perfil número 2 del Cerro de La Cruz.

Como en todos los perfiles, su orientación es de noreste a sureste (A-A'). En este perfil se puede observar que un primer plano de fractura se encontraría a los 102 m.

Perfil 2

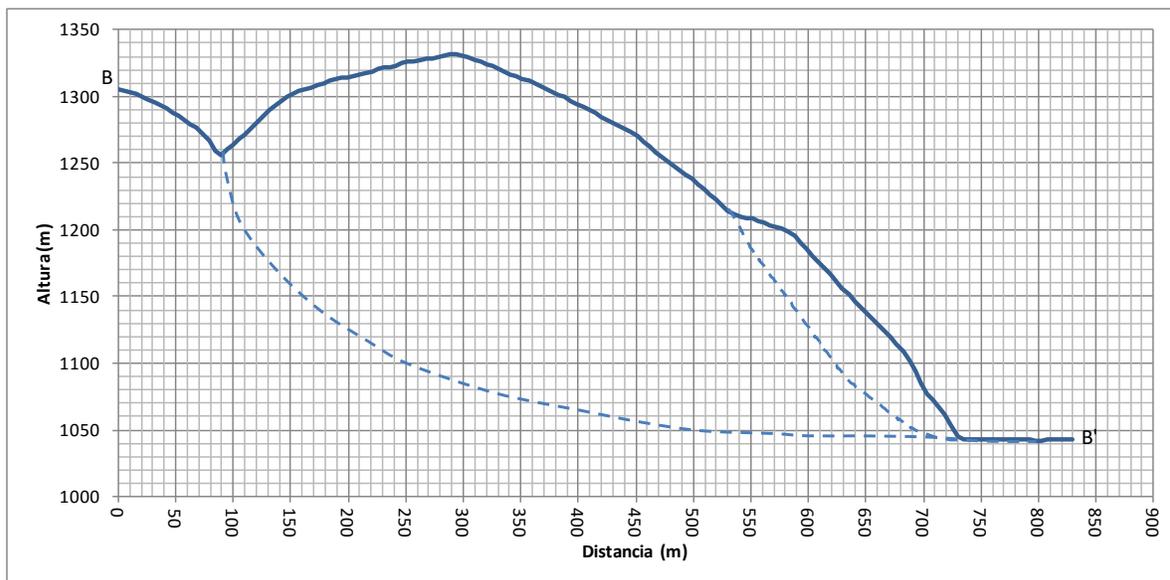


Figura 59. Perfil número 2 del Cerro de La Cruz.

El perfil 2 nos indica que el primer plano de fractura se encuentra a 97 m sobre la cima del domo, seguido de un segundo escarpe a aproximadamente 300 m con

una pendiente de entre 41 y 53° aproximadamente, por último otro escarpe a 630 m.

Perfil 3

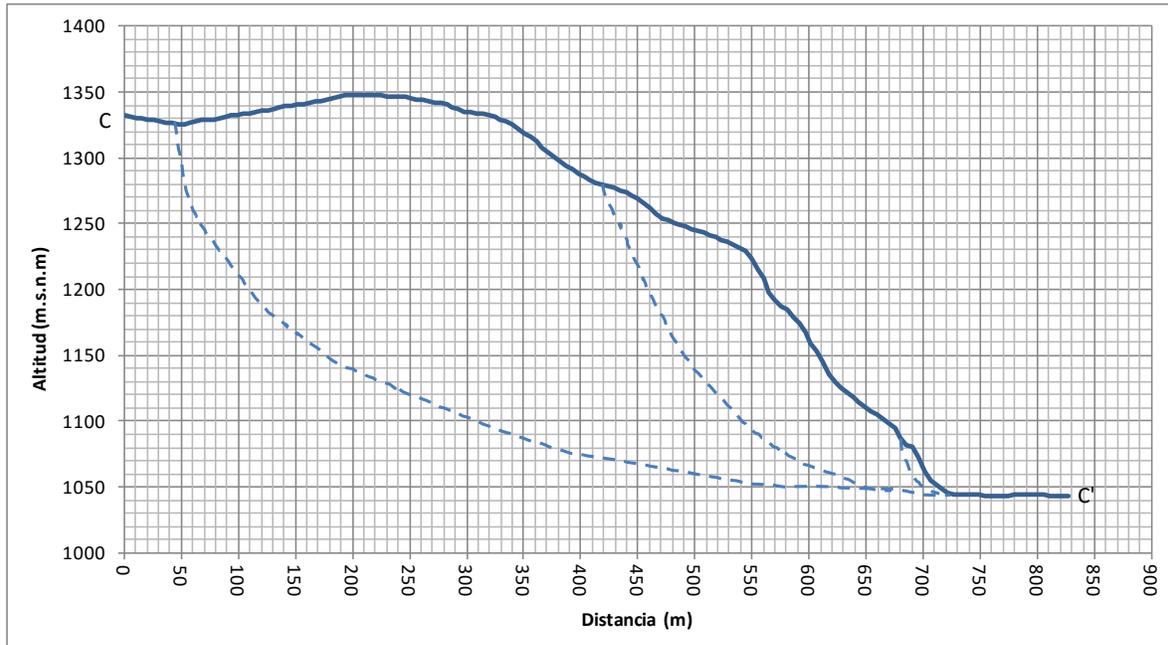


Figura 60. Perfil número 3 del Cerro de La Cruz.

En este perfil se ubicaron 3 escalones, el principal se encuentra a una altitud de 1330 m.s.n.m a una distancia de 50 m, dentro de este escarpe principal encontramos otro a una altitud de 1270 m.s.n.m y dentro de uno más pequeño. Todos en dirección noroeste-sureste. El primer escarpe inicia a una altura de 1330 m y una distancia de 50 m.

Perfil 4

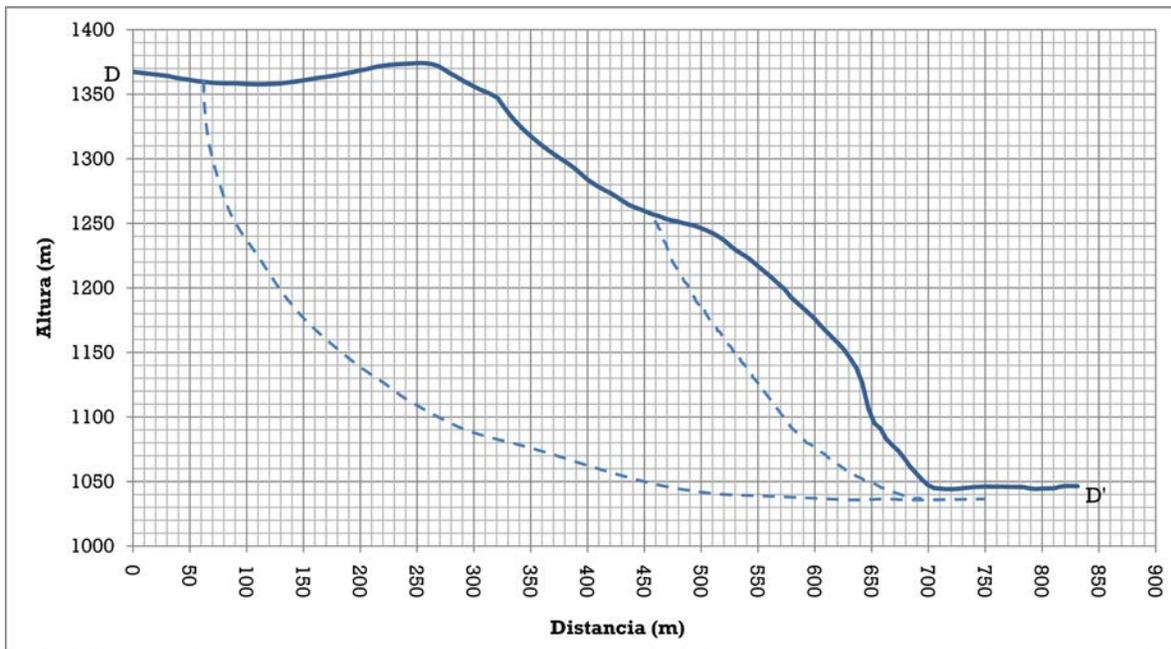


Figura 61. Perfil Número 4 del Cerro de La Cruz

En el perfil 4 se observan 2 escalones, con dirección Noroeste-Sureste, con dirección a la parte de más baja altitud, en este caso la planicie del Río Tlapaneco. El escarpe principal se localiza a una altura de 1,370 m, a una distancia de 95 m.

Perfil 5

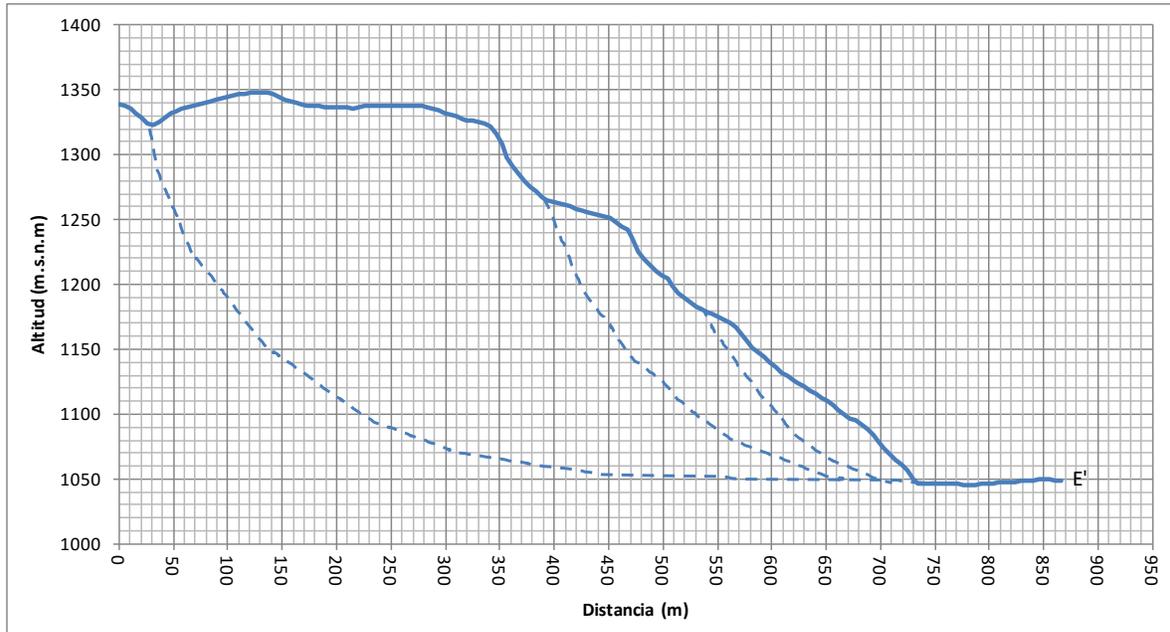


Figura 62. Perfil número 5 del Cerro de La Cruz

En el perfil 5 se pueden observar un total de 3 escalones. El escarpe principal se encuentra a una altura de 1,330 m.s.n.m a una distancia de 25 m aproximadamente, a partir 3900 m hasta los 540 m se empiezan a diferenciar unos escalones consecutivos, es decir, que se fueron generando a partir de los depósitos dejados y lo cuales al haber factores externos como la lluvia y la sismicidad aunado los efectos de la pendiente se fueron desencadenando. Todos los demás desplazamientos.

Perfil 6

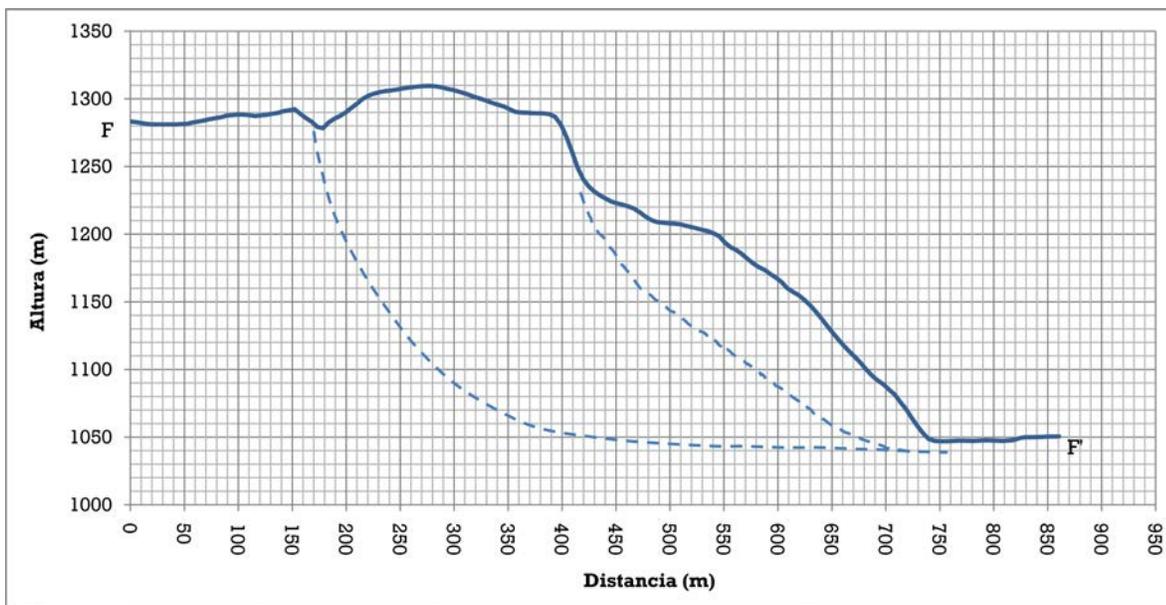


Figura 63. Perfil número 6 del Cerro de La Cruz

Este perfil refleja el trazo realizado en el lado izquierdo del cerros, sobre la cara frontal, en el perfil se pueden apreciar la falla principal 180 m de distancia y 1270 m.s.n.m de altura. Lo Característico de este perfil es que donde se encuentra la falla principal hay un movimiento paulatino que provoca la deformación del domo generando un desplazamiento hacia el sureste.

Perfil 7

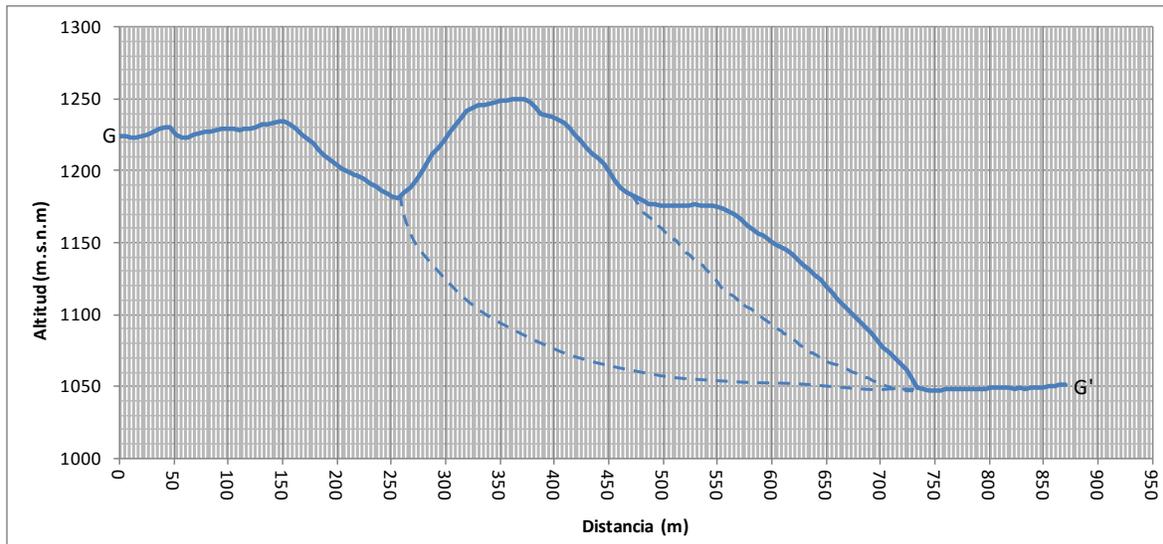


Figura 64. Perfil número 7 del Cerro de La Cruz

Este último perfil realizado al cerro de La Cruz refleja las irregularidades sobre el cerro, los numerosos escalones que se han generado a través de los años, con un total de 2 escarpes que van dirigidos de norte a sur, teniendo como destino la planicie del Río Tlapaneco al igual que los escalones anteriores. El primer escarpe se encuentra ubicado a una distancia de 260 m aproximadamente y a una altura de 1230 m.

5.1.9.2 Perfiles del Cerro Bola

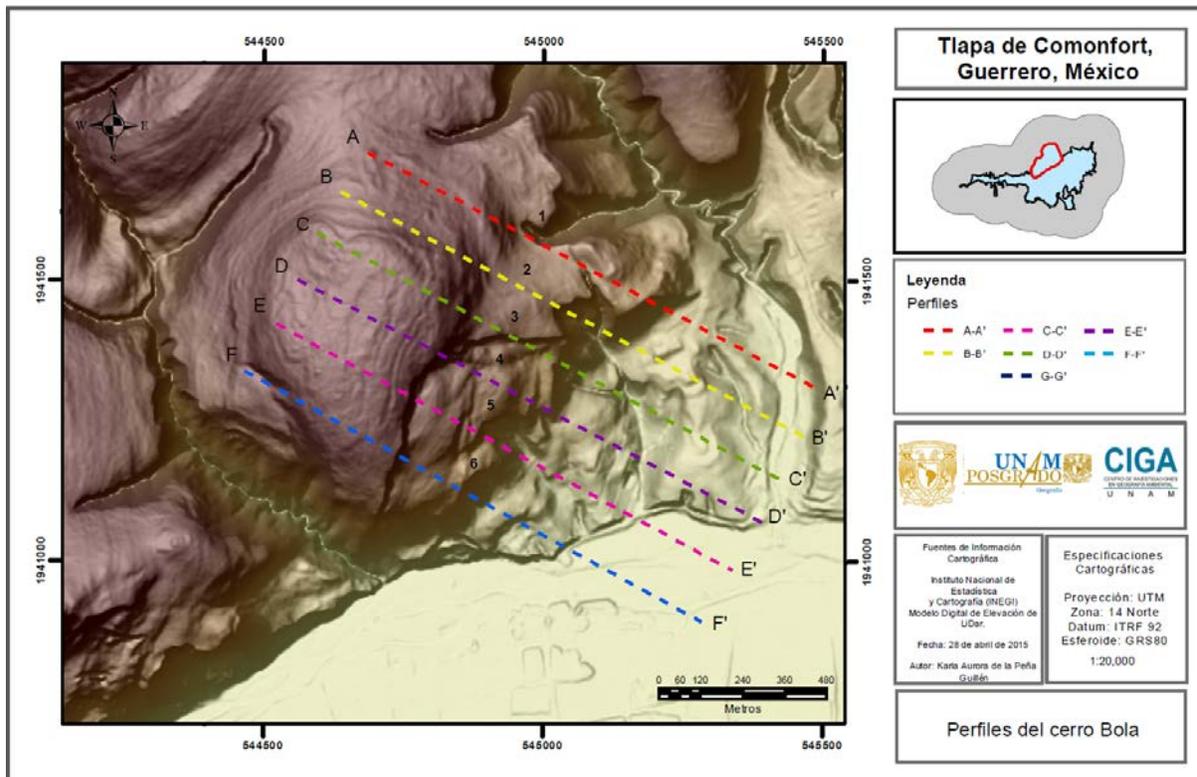


Figura 65. Mapa de ubicación de perfiles del Cerro de la Bola

Perfil 1

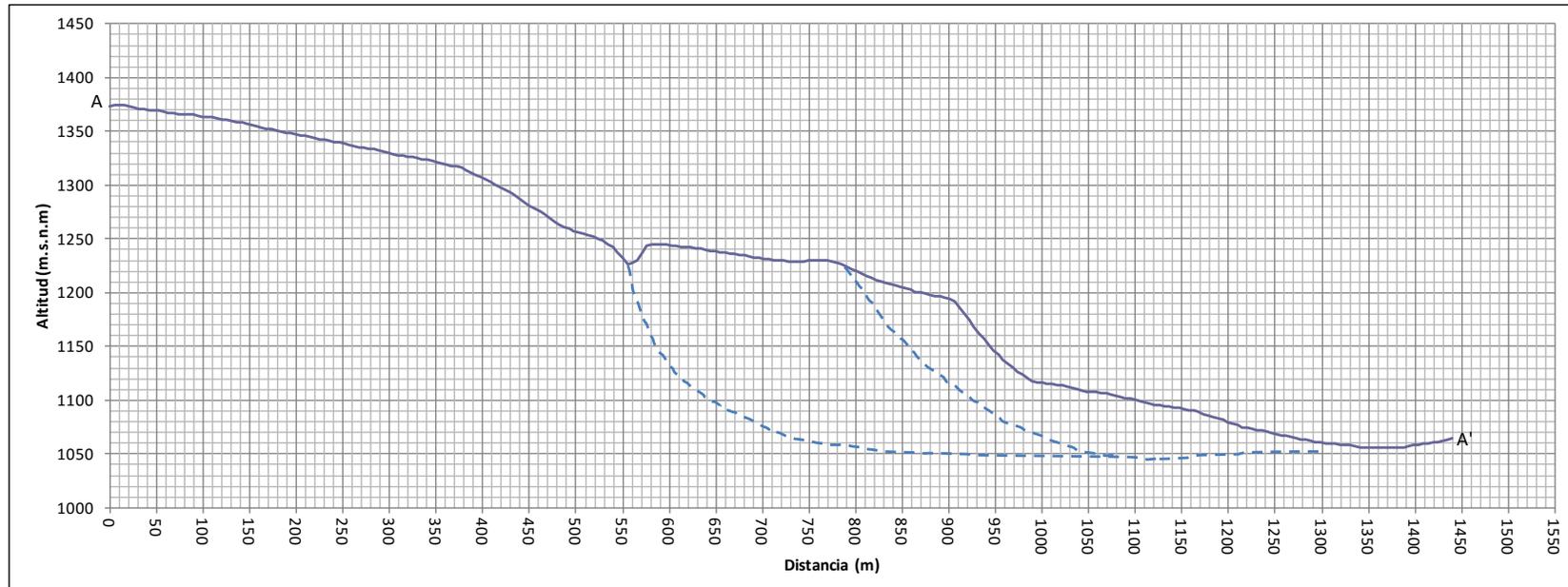


Figura 66. Perfil número 1 del Cerro Bola.

Este primer perfil se trazó sobre el lado derecho de la cara frontal del cerro de la Bola, en el cual se observa la formación de tres escarpes que van dirigidos de norte a sureste. El escarpe más alto se localiza a una altura de 1240 m.s.n.m y a una distancia de 550 m aproximadamente.

Perfil 2

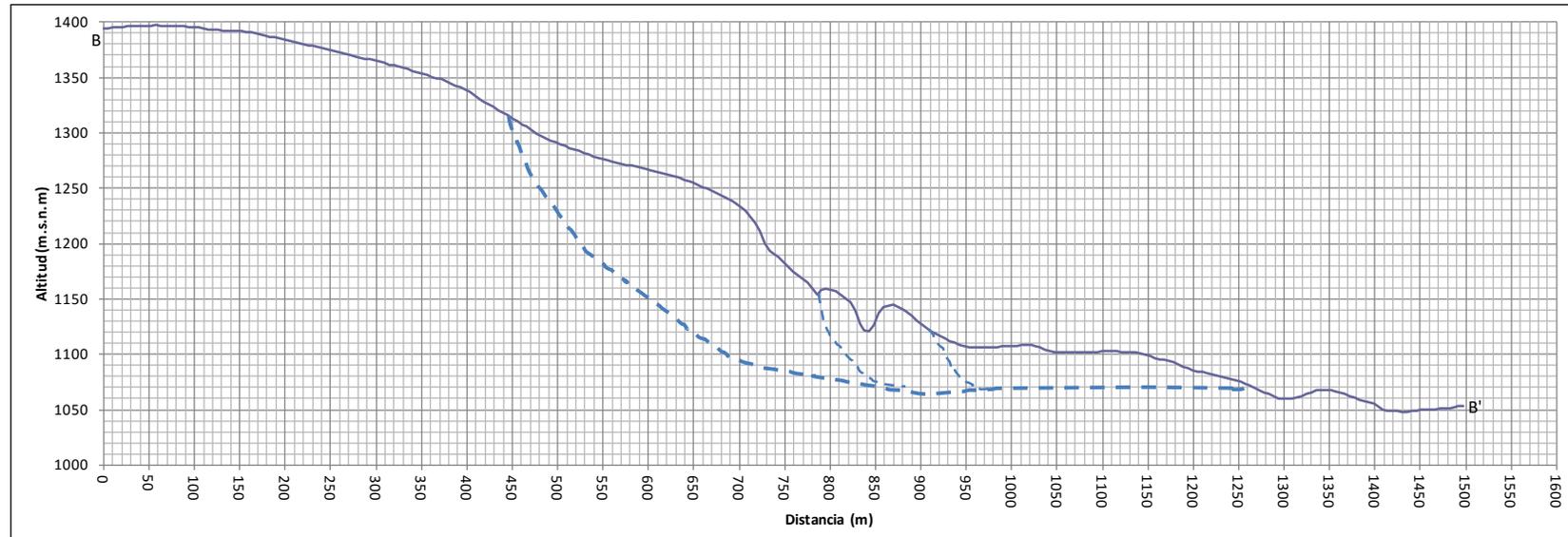


Figura 67. Perfil número 2 del Cerro Bola.

Este perfil también se encuentra localizado a la derecha de la parte frontal del cerro, se observan 3 escarpes en total los cuales se encuentran orientados de noroeste a sureste, su destino final es el cauce de una corriente intermitente que va directamente a desembocar en la planicie fluvial del río Tlapaneco. El escape o escalón de mayor altura se encuentra a 1330 m.s.n.m a una distancia de 448 m aproximadamente.

Perfil 3

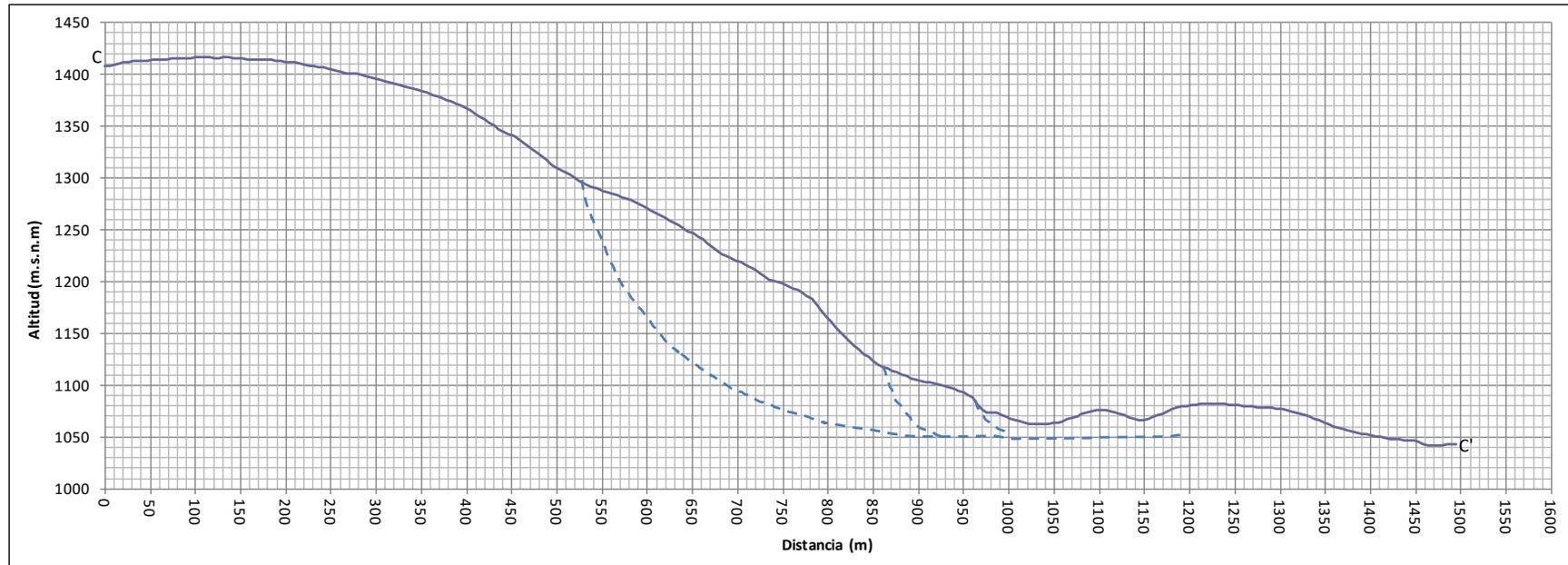


Figura 68. Perfil número 3 del Cerro Bola

El presente perfil fue trazado casi sobre el inicio del escarpe principal el cual es el que contiene a otros de menos dimensiones, en este podemos observar en total 3 escarpes con dirección de noroeste a sureste y con diferente longitudes dependiendo de la cercanía al cauce de la corriente intermitente cuyo destino es la planicie fluvial del Río Tlapaneco.

Perfil 4

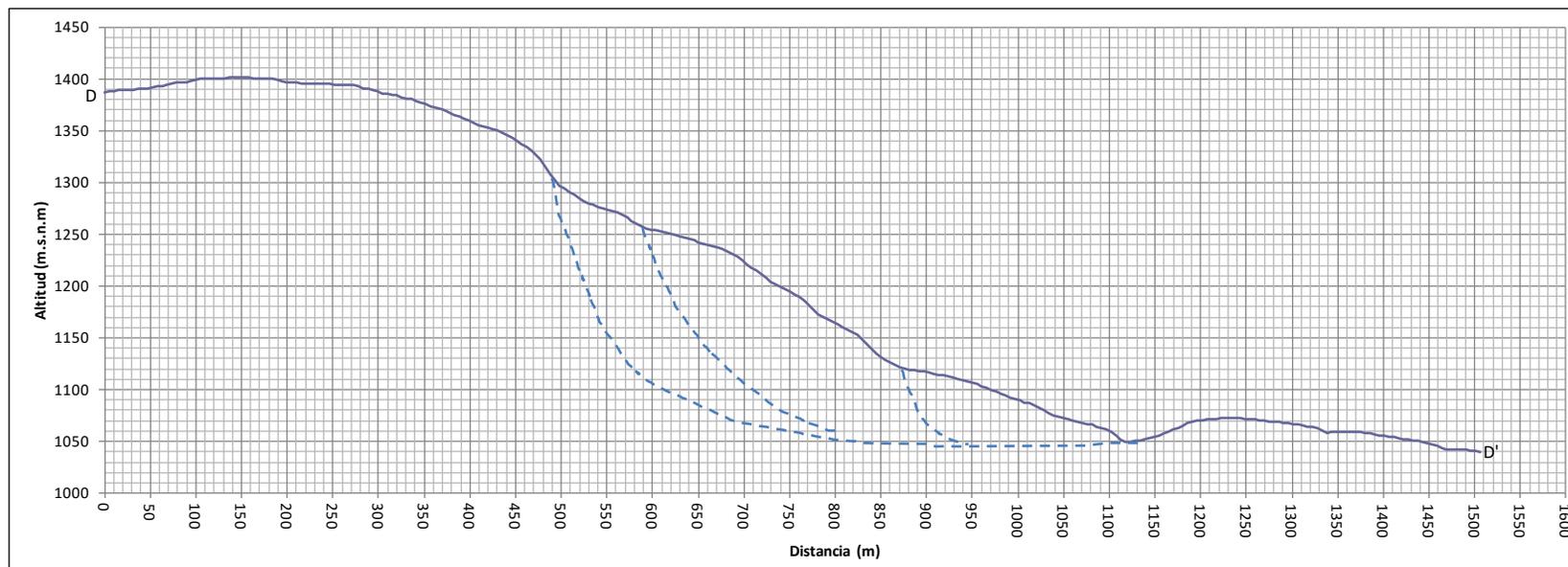


Figura 69. Perfil número 4 del Cerro Bola

Para este perfil se obtuvieron un total de 3 grandes escarpes de los cuales se puede observar que el primero es el más notable, a una distancia de 430 m y una altitud de 1320 m.s.n.m, orientados de noroeste a sureste.

Perfil 5

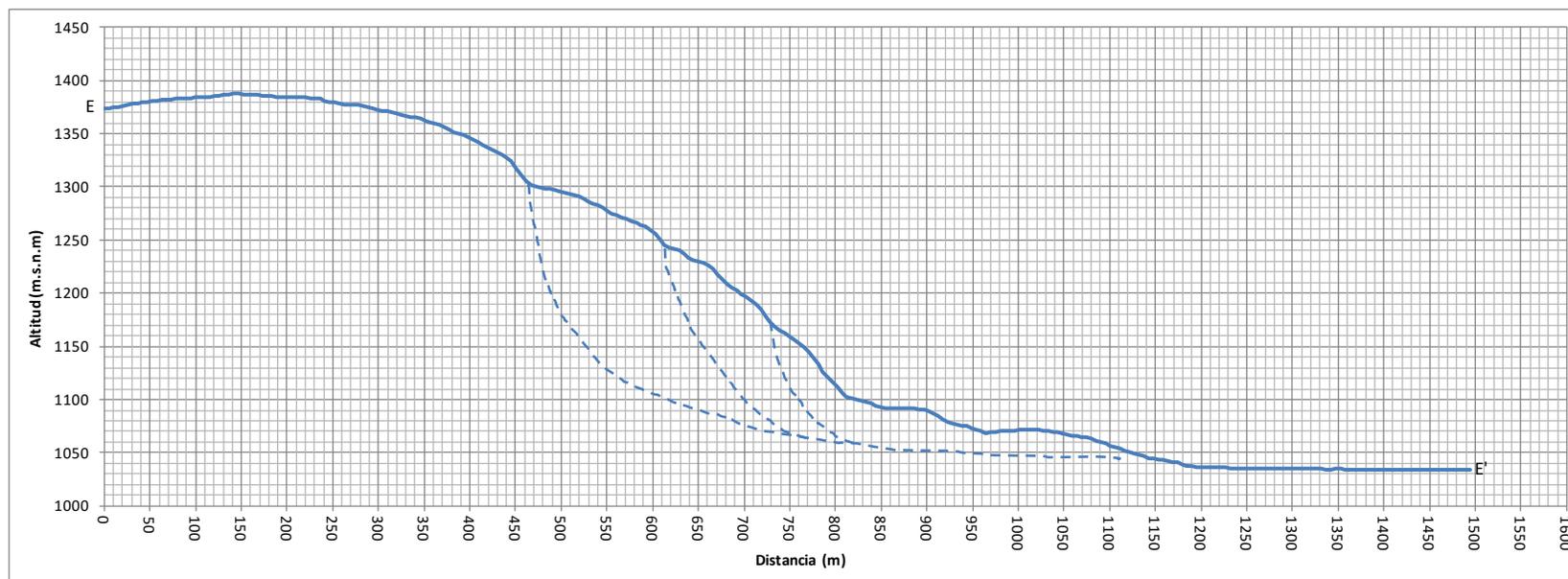


Figura 70. Perfil número 5 del Cerro Bola

Esta sección del cerro de la Bola fue dividida en 3 escarpes, lo cuales lo cubren por completo desde la parte más alta hacia la planicie fluvial del Río Tlapaneco. El escarpe de mayores dimensiones se encuentra a una altitud de 1340 m.s.n.m a una distancia de aproximadamente 520 m.

Perfil 6

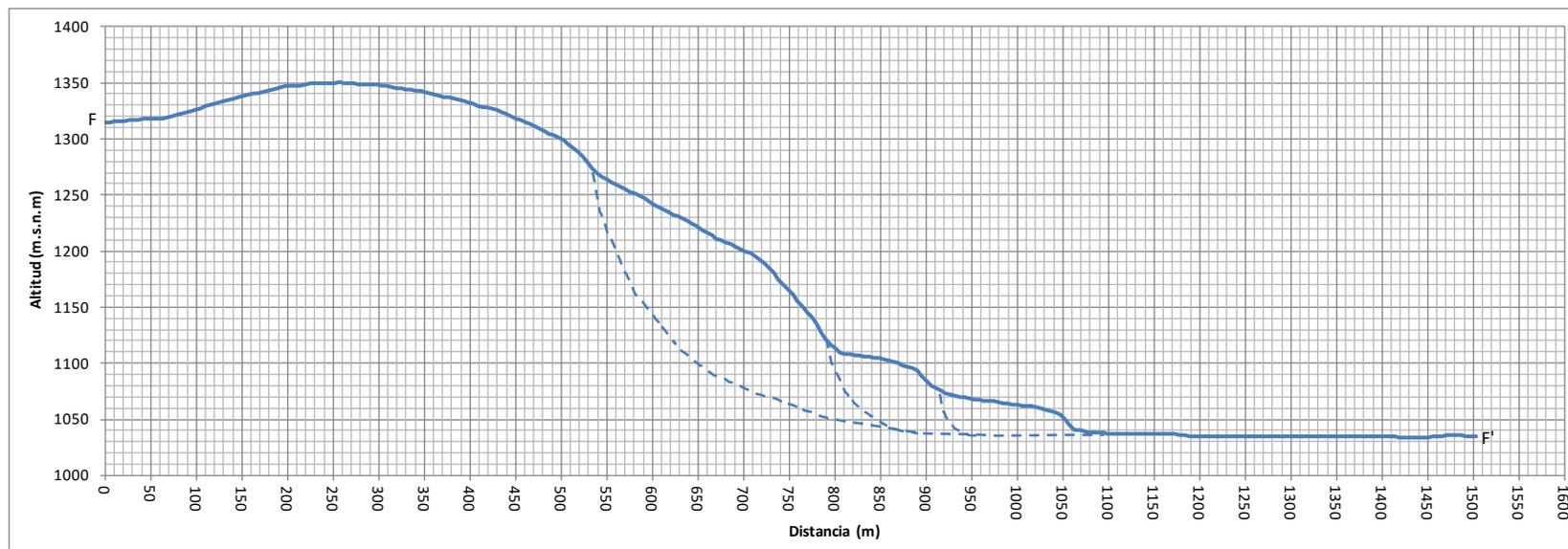


Figura 71. Perfil número 6 del Cerro Bola

Esta sección del cerro de la Bola fue dividida en 3 escarpes, lo cuales lo cubren por completo desde la parte más alta hacia la planicie fluvial del Río Tlapaneco. El escarpe de mayores dimensiones se encuentra a una altitud de 1270 m.s.n.m a una distancia de aproximadamente 540 m.

5.2 NIVELES DE VULNERABILIDAD

5.2.1 Evaluación de la vulnerabilidad

El insumo básico con el cual se pudo aplicar la metodología para evaluar las condiciones de vulnerabilidad se encuentra constituido por la definición espacial de los sujetos de vulnerabilidad. El resultado obtenido de la delimitación de estos, es presentada en la figura 72, así mismo se presenta en el Tabla 16. una relación de las superficies que abarca cada uno de los sujetos en el área de estudio.

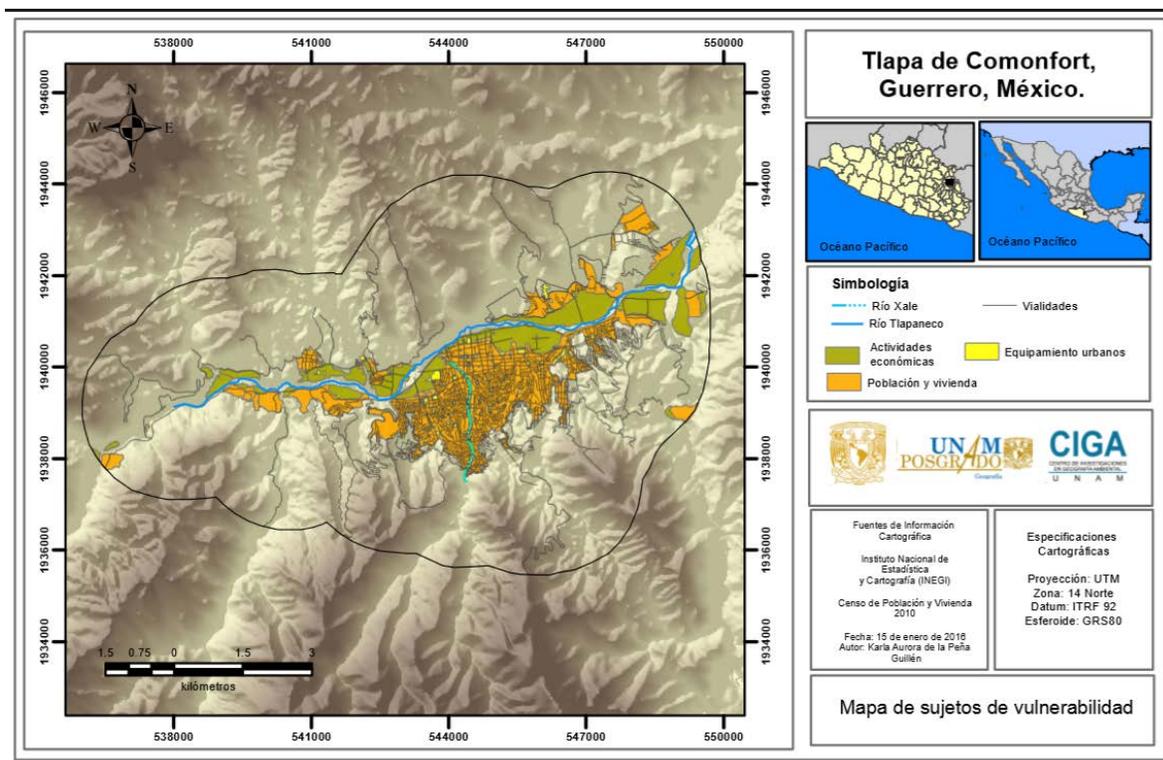


Figura 72. Mapa de sujetos de vulnerabilidad

Sujeto	Superficie (Ha)
Población y vivienda	966
Actividades económicas	480
Equipamiento urbano	29
Total	1475

Tabla 16. Distribución de la superficie de los sujetos de vulnerabilidad

5.2.1.1 Vulnerabilidad frente al peligro por deslizamientos

Sobre la simulación de los deslizamientos de los Cerros de La Cruz (Figura 73) y Bola (Figura 74) se obtuvieron resultados a los cuales se les tomó como el escenario más catastrófico, es decir, que en cierto periodo de tiempo pueda darse la ocurrencia de los mega deslizamientos (en tiempos diferentes para cada cerro), donde el movimiento corresponda a la caída de toda la masa inestable, lo que significa un volumen aproximado de 62,142,043.75 m³ en un área de 205 ha para el Cerro de La Cruz y 17,391,054.6 m³ en un área de 101ha en el caso de la Bola. En este mismo escenario existe la posibilidad de que a consecuencia del bloqueo del Río Tlapaneco, por los materiales de depósito por deslizamiento, se genere un represamiento que no permitiría que fluyera aguas abajo, y por lo tanto una inminente inundación de la ciudad de Tlapa, y de los asentamientos localizados aguas arriba.

Cabe destacar que estos modelos son únicamente una aproximación gruesa del alcance que podrían tener los deslizamientos en el escenario más catastrófico. La falta de datos adecuados, además del método indicado no permitió la elaboración de un modelo que fuera más preciso y el más aproximado a la ocurrencia de estos eventos.

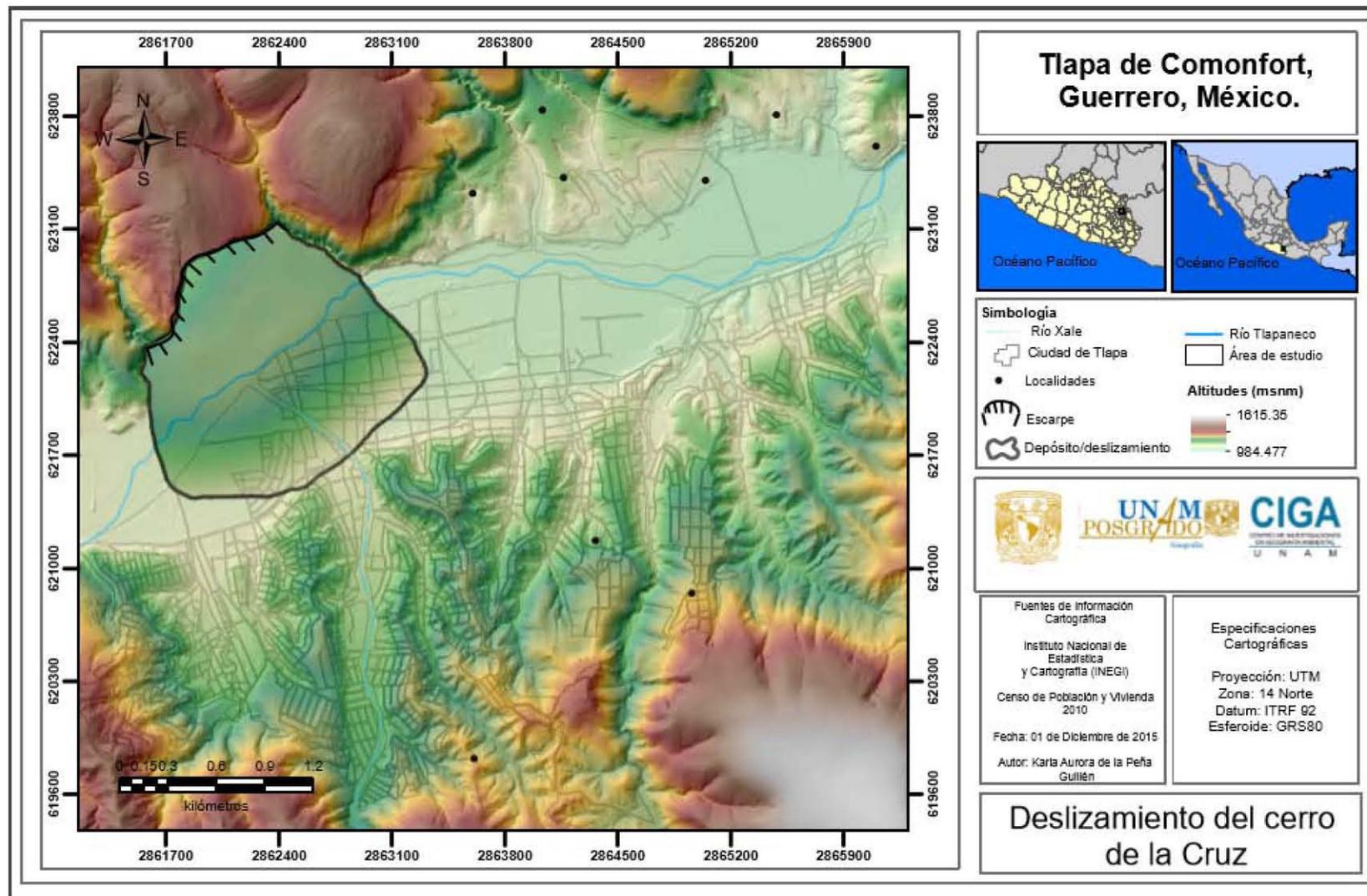


Figura 73. Modelado del deslizamiento / depósito del Cerro de La Cruz (polígono en negro).

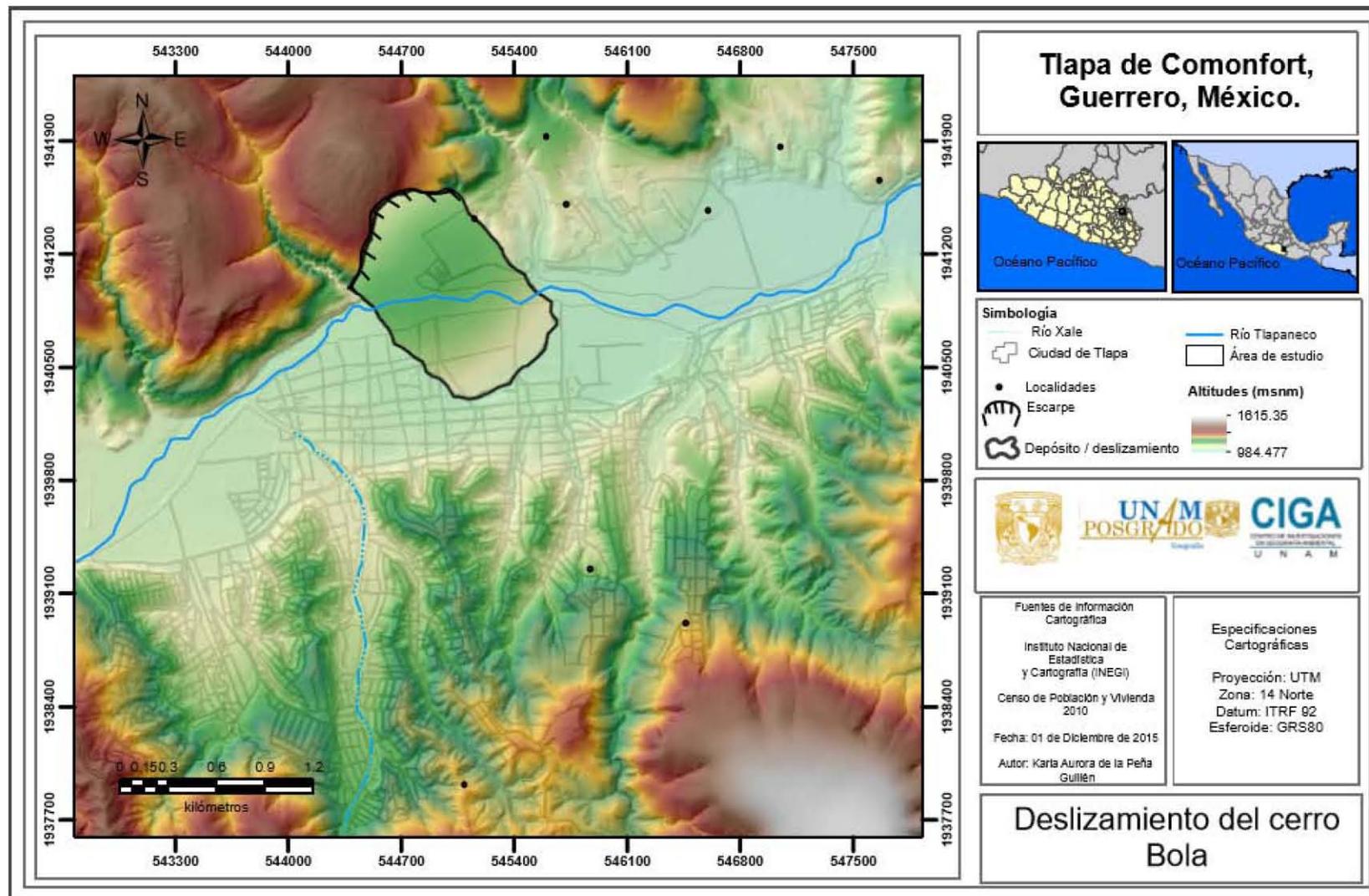


Figura 74. Modelado del deslizamiento / depósito del Cerro Bola (polígono en negro).

5.2.1.1.1 Evaluación de vulnerabilidad por exposición a los deslizamientos

La combinación del peligro por los deslizamientos de los Cerros de La Cruz y Bola con las capas de población por manzanas, infraestructura y actividades económicas, ha dado como resultado los mapas de vulnerabilidad por exposición. De acuerdo con datos censales obtenidos del INEGI (2010), se estimó lo siguiente para cada deslizamiento:

➤ **Vulnerabilidad por exposición al deslizamiento del Cerro de La Cruz**

Exposición de manzanas

En total habría pérdida total de 99 manzanas que representan un porcentaje de 10.11% área urbana de la ciudad, es decir, de la ocupada por todas las manzanas. De acuerdo con su distancia al límite de origen del deslizamiento, 9 manzanas se encuentran en un nivel Alto de vulnerabilidad por exposición, y 16 a un Medio alto, el resto entran en niveles de vulnerabilidad Medio, Medio Bajo y Bajo respectivamente. Cabe destacar que los niveles de vulnerabilidad de las manzanas fueron determinados con respecto a las distancias obtenidas a partir del origen del depósito del deslizamiento, es decir, a menor distancia de la manzanas respecto al depósito, mayor el nivel de vulnerabilidad, y viceversa para aquellas manzanas cuyos niveles son Medio, Medio Bajo y Bajo.

Esto no significa que aquellas que se encuentren en niveles de vulnerabilidad de Medio a Bajo no se verían afectadas; bajo este escenario todas las manzanas tendrían algún nivel de afectación por el deslizamiento, pero mientras más cercanas del origen del deslizamiento más probabilidades de afectación tendrían.

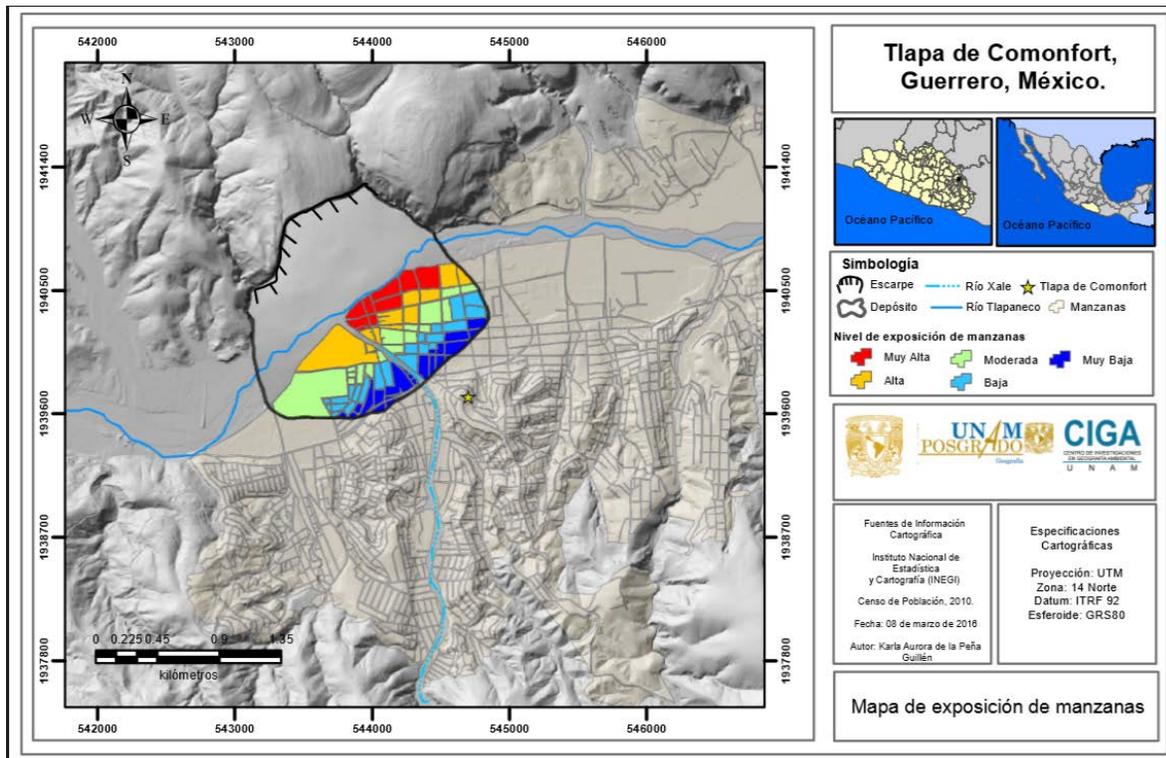


Figura 75. Mapa de manzanas afectadas por exposición al deslizamiento del Cerro de la Bola.

Distancias (m)	Nivel de vulnerabilidad
663-800	Bajo
525-662	Medio Bajo
386-524	Medio
248-385	Medio Alto
109-247	Alto

Tabla 17. Valores de nivel de vulnerabilidad por exposición.

Exposición de la población

Los resultados para este sujeto de vulnerabilidad indican que, en caso de que llegara a ocurrir el deslizamiento del Cerro de La Cruz (en un escenario más catastrófico) Las colonias afectadas serían, la colonia el Peligro, Caltitlán y Centro, donde el número de pérdidas humanas llegaría hasta los 5,653 que representan el 12.64% de la población

total de la ciudad, de los cuales 2,227 serían menores de edad (0-14 años de edad) lo que representa el 13.5% de la población infantil total de Tlapa; el número de personas de la tercera edad (>65 años) ascendería a 367, lo que representa un 25.5% de la población total de la tercera edad y del resto de la población de adultos y jóvenes 3,059 sería de (15-64 años) representaría un 11.3% del total de esta población (Figura 75), lo que en términos globales representa el 12.6% de la población total de la ciudad. Dentro de este escenario no cabe posibilidad alguna de evitar la pérdida de vidas humanas debido a la naturaleza del evento en cuestión, siendo un deslizamiento de grandes magnitudes. Esto mientras no se tenga conocimiento del modo de ocurrencia y el tiempo estimado del deslizamiento.

Infraestructura

Exposición de viviendas

El resultado indica que existen un total de 12,404 viviendas (Censo de Población 2010) en Tlapa, de las cuales, en el peor escenario se perderían un aproximado de 2,111 lo que representa un 17.0% de las viviendas totales de la ciudad. Tomando en cuenta la magnitud del deslizamiento se deben considerar que las posibilidades de que algunos inmuebles queden intactos son poco probables, lo que quiere decir que las viviendas localizadas en el área de afectación del Cerro de La Cruz sería pérdida total.

Exposición de vialidades

Como bien se sabe, para que un asentamiento pueda estar en movimiento se requieren de rutas que la conecten tanto al interior como al exterior del mismo, por lo que las vialidades cumplen un papel fundamental en la movilidad de las ciudades y zonas urbanizadas. En este caso, la ciudad de Tlapa de Comonfort se vería severamente afectada por los deslizamientos tanto del Cerro de La Cruz como el Cerro Bola, debido a que existen vialidades, que además de ser importantes para el tránsito en la ciudad, son importantes porque permiten la conexión de la ciudad con el resto de localidades, municipios e incluso de otros estados.

El deslizamiento del Cerro de La Cruz traería como consecuencias que 53 vialidades entre calles, avenidas y carreteras se vieran seriamente afectadas, tal es el caso de la carretera que conecta el Estado de Guerrero con el Edo. De Puebla por la parte de la región de la Montaña, y también calles importantes que conectan el centro con el resto de la ciudad como lo es la calle Guerrero y la 5 de Mayo. En total quedarían inutilizados 22 Km de vialidades y 2.2 Km de brecha con la cual se puede acceder a la parte alta del cerro de La Cruz (Figura 76).

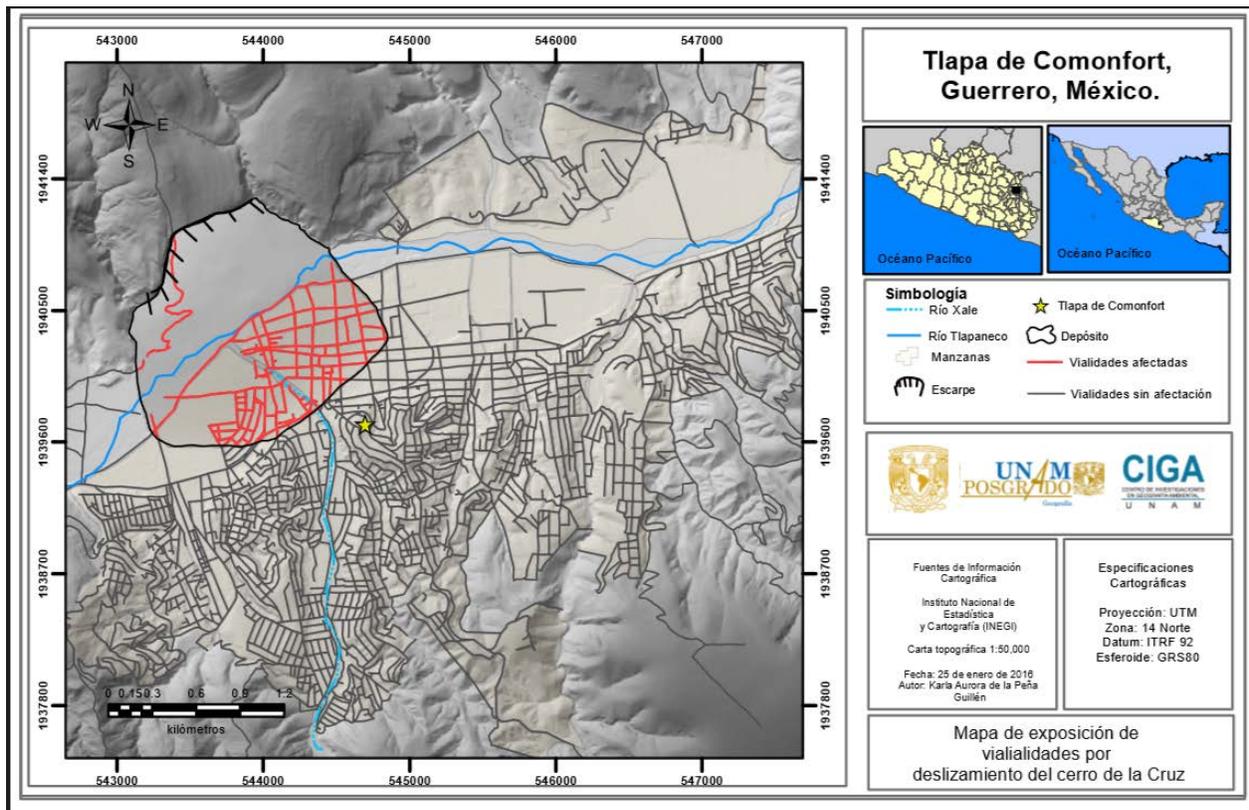


Figura 76. Vialidades afectadas por deslizamiento del Cerro de La Cruz.

Exposición de equipamiento urbano

En cuanto a la infraestructura, se destaca que, dentro de las manzanas que se encuentran expuestas hay 15 centros educativos de nivel básico, medio superior y superior más un instituto privado; dos mercados municipales; un súper mercado; tres

instalaciones recreativas; el hospital de la Madre y el Niño Indígenas más dos consultorios médicos y una clínica; y 5 bodegas de abastecimiento de alimentos, ropa y calzado, electrodomésticos y diversos artículos; un cementerio municipal; un clínica; 4 iglesias; y 3 instalaciones recreativas, entre las que destacan la plaza de toros San Francisco, la unidad deportiva Tlapa de Comonfort, y un balneario (Figura 76).

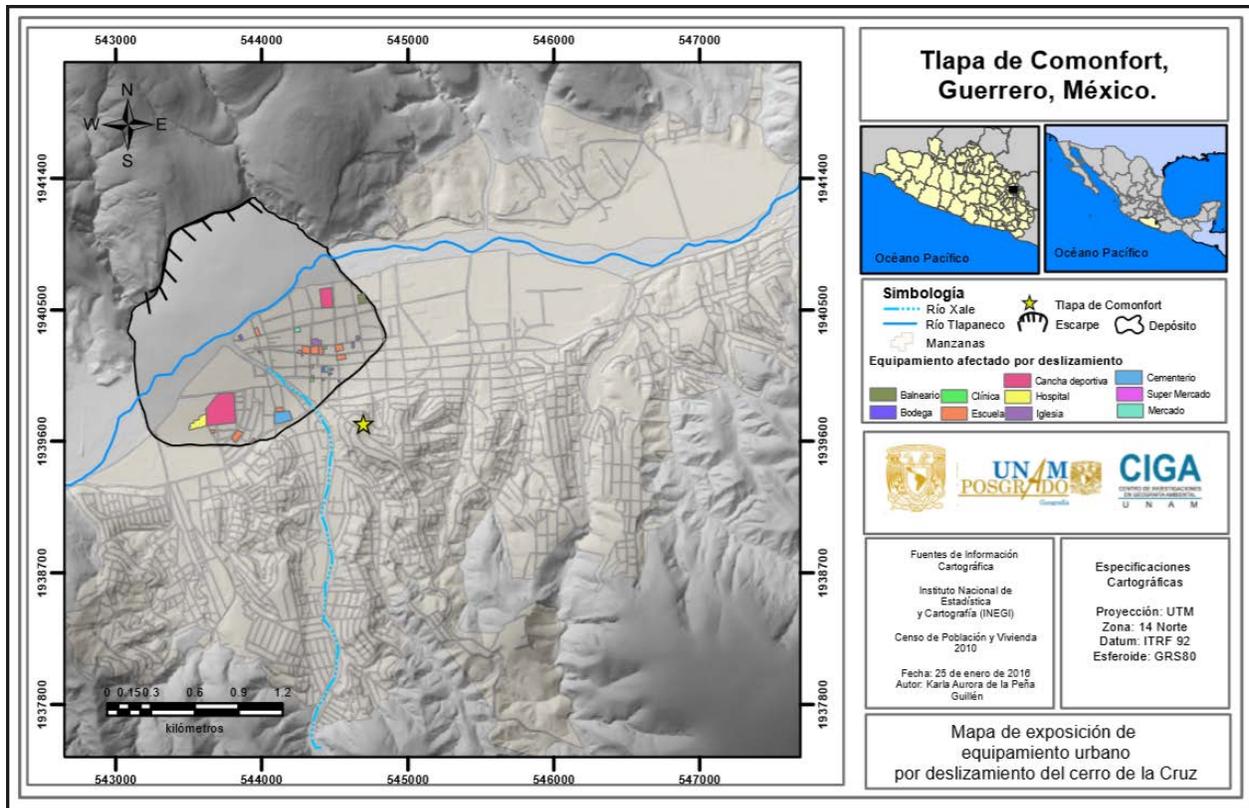


Figura 77. Mapa de exposición de equipamiento urbano al deslizamiento del Cerro de La Cruz.

Actividades económicas

Exposición de cultivos y comercios

Con respecto a las pérdidas en cuanto a las actividades económicas, se contemplan el número de hectáreas de cultivo que se verían afectadas por el deslizamiento, los espacios de uso agrícola susceptibles cubren un espacio de 29 Ha de las 482 totales por toda el área de estudio, lo que representa un 6.0% de toda la superficie total de

cultivos del área de estudio. Cabe destacar que dentro de esta misma zona de afectación también se produce algún tipo de actividad pecuaria, lo cual implica la afectación no sólo de espacios de cultivo sino de otra de las actividades económicas más importantes como la ganadería de tipo mayor y menor, y por lo que respecta a la actividad comercial, se verían afectados 1,353 comercios de diferentes giros (Figura 78).

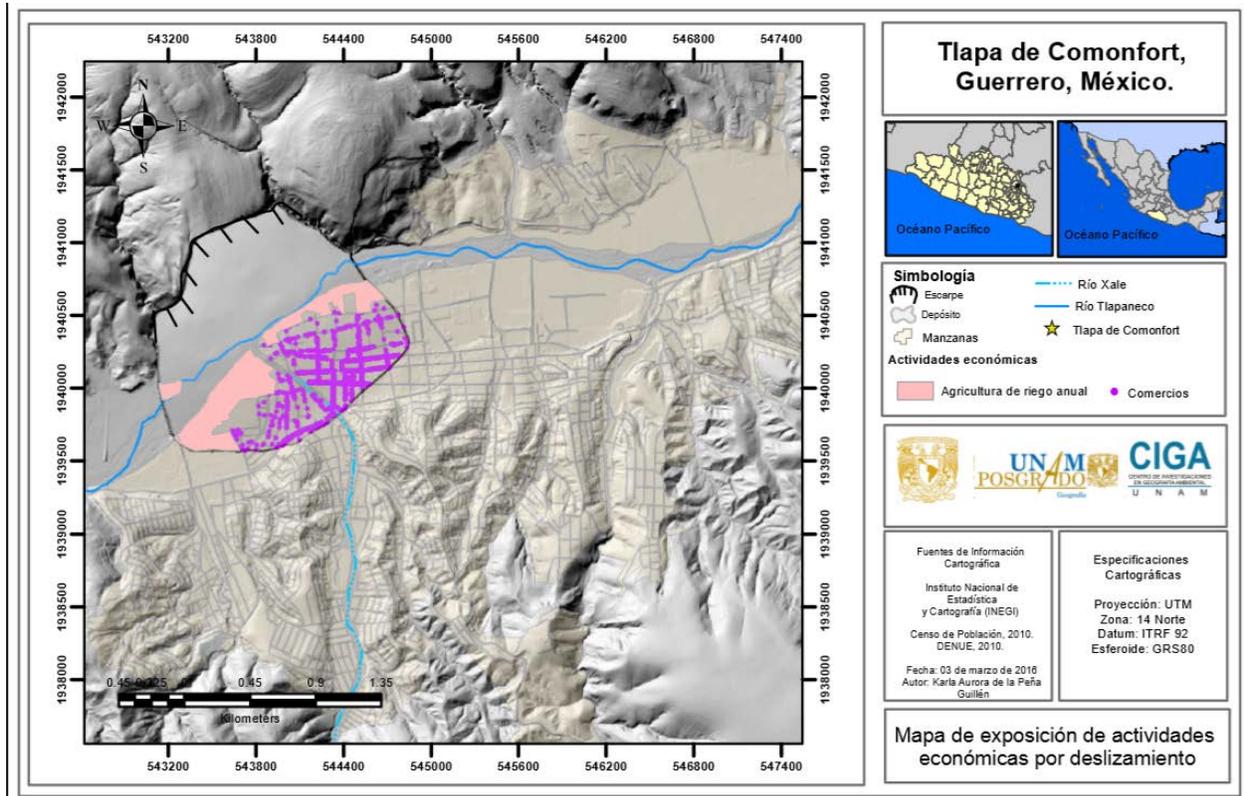


Figura 78. Actividades económicas afectadas por exposición al deslizamiento del Cerro de La Cruz.

Tipo de giro	No. de comercios	Porcentaje global
Pesca y captura de peces	1	50
Captación, tratamiento y suministro de agua	1	100
Construcción de obras de urbanización	1	100
Trabajos de albañilería	1	100
Instalaciones hidrosanitarias y de gas	1	100
Elaboración de helados y paletas	1	7.69
Matanza de ganado, aves y otros animales	1	100

comestibles		
Elaboración de productos de panadería y tortillas	27	19.42
Industria de las bebidas	2	33.33
Fabricación de insumos textiles y acabado de textiles	4	15.38
Fabricación de otros productos de cartón y papel	1	50
Impresión de formas continuas y otros impresos	2	66.66
Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	1	11.11
Fabricación de productos de herrería	15	20
Fabricación de muebles, excepto cocinas integrales, muebles modulares de baño y muebles de oficina y estantería	2	13.33
Joyería de metales y piedras no preciosos y de otros materiales	1	100
Comercio al por mayor	24	24
Comercio al menor	834	3.76
Transporte colectivo urbano y suburbano de pasajeros en autobuses de ruta fija	1	6.66
Otro transporte terrestre de pasajeros	2	50.00
Servicios de mensajería y paquetería foránea	1	12.5
Operadores de servicios de telecomunicaciones alámbricas	1	50.00
Servicios financieros y de seguros	19	67.85
Servicios inmobiliarios	7	77.77
Servicios profesionales, científicos y técnicos	20	76.92
Servicios de apoyo a los negocios	34	30.08
Servicios educativos privados	9	64.28
Servicios de salud y de asistencia social privados	54	88.52
Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	12	36.36
Servicios de alojamiento temporal	7	43.75
Servicios de preparación de alimentos y bebidas	163	35.43

Servicios de reparación y mantenimiento	45	15.95
Servicios personales	58	42.96

Tabla 18. Tipo de giros y porcentajes globales de los comercios afectados a consecuencia del deslizamiento del Cerro de La Cruz.

➤ **Vulnerabilidad por exposición al deslizamiento del Cerro Bola**

Exposición de manzanas

En total habría pérdida total de 15 manzanas que representan un porcentaje de 1.53% del área urbana de la ciudad, es decir, de la ocupada por todas las manzanas con respecto al total de manzanas en la ciudad. De las cuales, 4 manzanas se encuentran en un nivel Alto de vulnerabilidad por exposición, y una con un Medio Alto, el resto entran en niveles de vulnerabilidad Medio, Medio Bajo y Bajo respectivamente. Cabe destacar que los niveles de vulnerabilidad de las manzanas fueron determinados con respecto a las distancias obtenidas a partir del depósito del deslizamiento, es decir, a menor distancia de la manzanas del depósito es Alto el nivel de vulnerabilidad y en viceversa para aquellas cuyos niveles de Medio a Bajo.

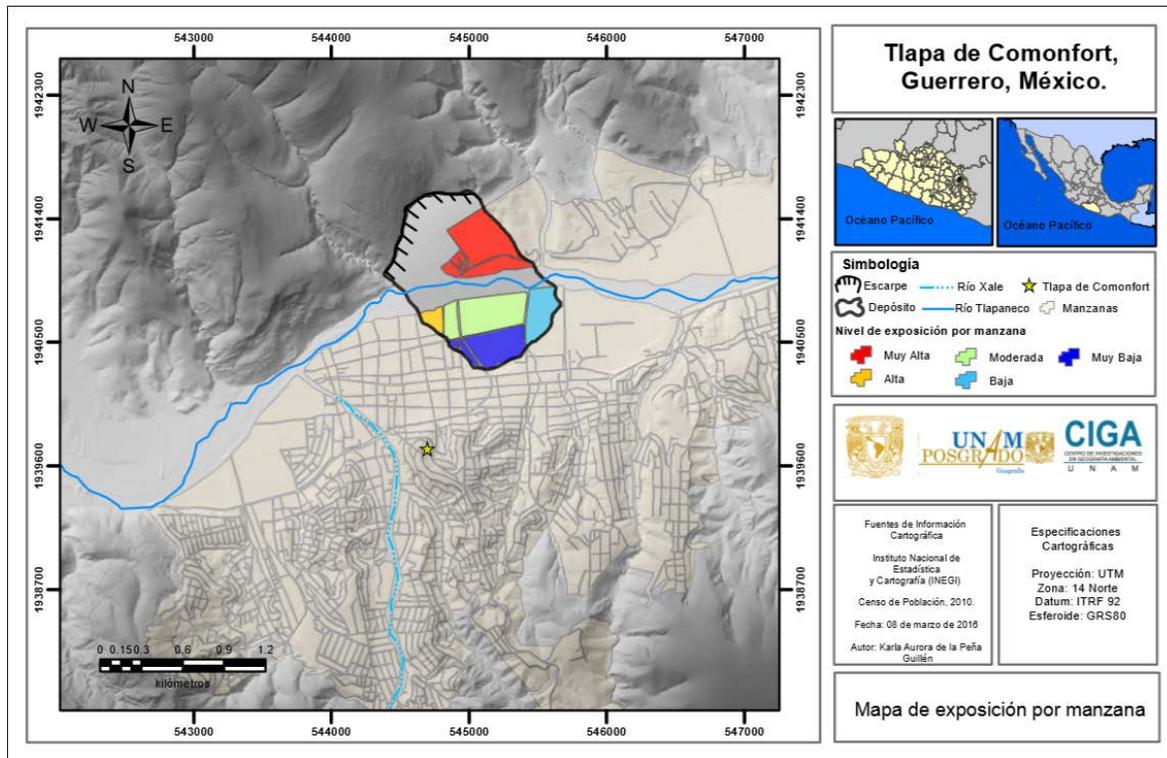


Figura 79. Mapa de manzanas afectadas por exposición al deslizamiento del Cerro de La Bola.

Distancias (m)	Nivel de vulnerabilidad
503-589	Bajo
371-502	Medio Bajo
312-370	Medio
49-311	Medio Alto
26-48	Alto

Tabla 19. Valores de nivel de vulnerabilidad por exposición de las manzanas.

Exposición de la población

Los resultados para este sujeto de vulnerabilidad indican que, en caso de que llegara a ocurrir el deslizamiento del Cerro de La Cruz (en un escenario más catastrófico), las colonias afectadas serían la Colonia Nueva y parte de la colonia San Diego, donde el número de pérdidas humanas llegaría hasta los 217, que representan el 0.48% de la población total de la ciudad, de los cuales 64 serían menores de edad (0-14 años) lo que representa el 0.14% de la población infantil de Tlapa; el número de personas de la tercera edad (>65 años) ascendería a 8, lo que representa un 0.01% de la población total y del resto de la población de adultos y jóvenes 126 sería de (15-64 años) representaría un 0.281% del total de pérdidas de vidas (Figura 79) lo que en términos globales representan el 0.48% de la población total de la ciudad. Dentro de este escenario no cabe posibilidad alguna de evitar la pérdida de vidas humanas debido a la naturaleza del evento en cuestión, siendo un deslizamiento de gran magnitud. Esto mientras no se tenga conocimiento del modo de ocurrencia y el tiempo estimado del deslizamiento.

Infraestructura

Exposición de viviendas

En lo que respecta a los bienes inmuebles, los datos indican que existen 12,404 viviendas en Tlapa (Censo de Población 2010), de las cuales 74 que representan el 0.5% de las viviendas totales de la ciudad se encuentran expuestas al deslizamiento bajo este escenario.

Exposición de vialidades

El escenario final resulta en pérdidas totales por exposición en algunas secciones de algunas de las calles más importantes. Siendo las vialidades elementos físicos que posibilitan el desplazamiento de un punto a otro de la ciudad, convirtiéndolo así en un elemento del cual no puede prescindirse en el funcionamiento urbano. Las afectaciones del deslizamiento del Cerro Bola hacia las vialidades sería de casi 5 km, menos de la

mitad de lo ocasionado por el Cerro de La Cruz. Sin embargo, afectará también un tramo de la carretera que conduce al Edo. de Puebla y para las calles principales habría afectaciones sobre la calle Matamoros, la cual conduce al centro de la ciudad (Figura 80).

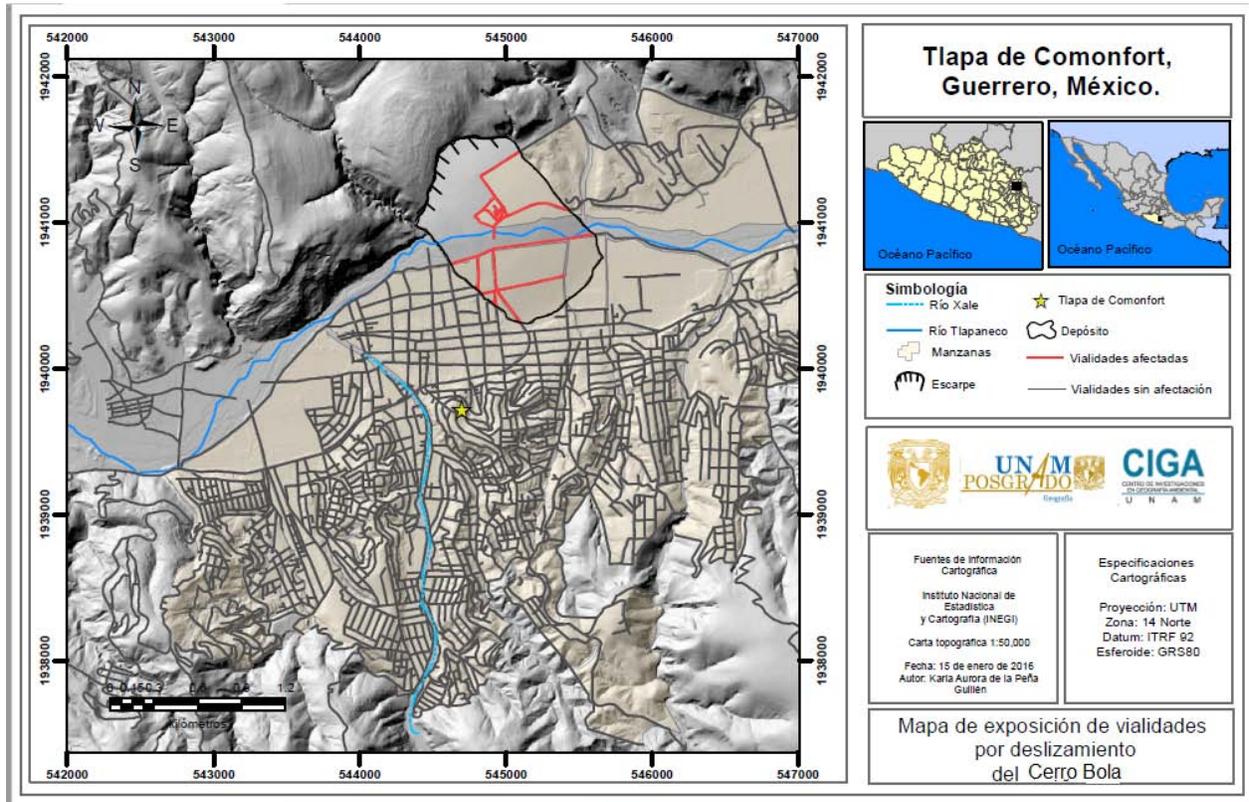


Figura 80. Exposición de vialidades al deslizamiento del Cerro Bola.

Exposición de equipamiento urbano

En tanto en lo correspondiente a la pérdida de equipamiento urbano, se identificó la presencia de un cementerio, una bodega de materiales de construcción, una iglesia, instalación de servicios de autotransporte y una purificadora de agua (Figura 81).

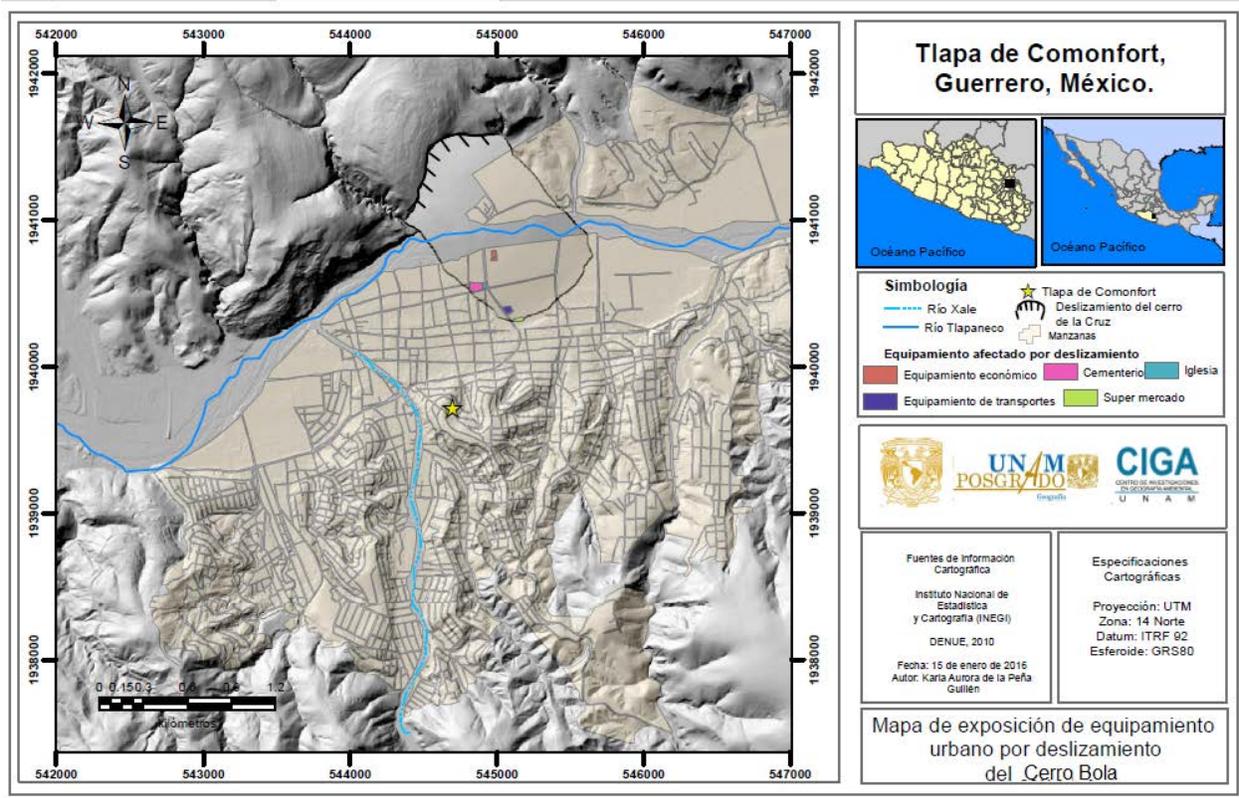


Figura 81. Exposición del equipamiento urbano al deslizamiento del Cerro Bola

Actividades económicas

Exposición de cultivos y comercios

Se identificó la superficie agrícola que consta de 38 Has de cultivos de las 482 totales, lo que equivale a 7.8% de los cultivos del área de estudio que serían afectados. El tipo de cultivo resultó ser agricultura de riego anual que los cuales son caracterizados por que su ciclo vegetativo dura solamente un año, por lo que respecta a los comercios, sería afectados 15 establecimientos de diversos tipos entre puestos de comida y pequeñas tiendas. (Figura 82).

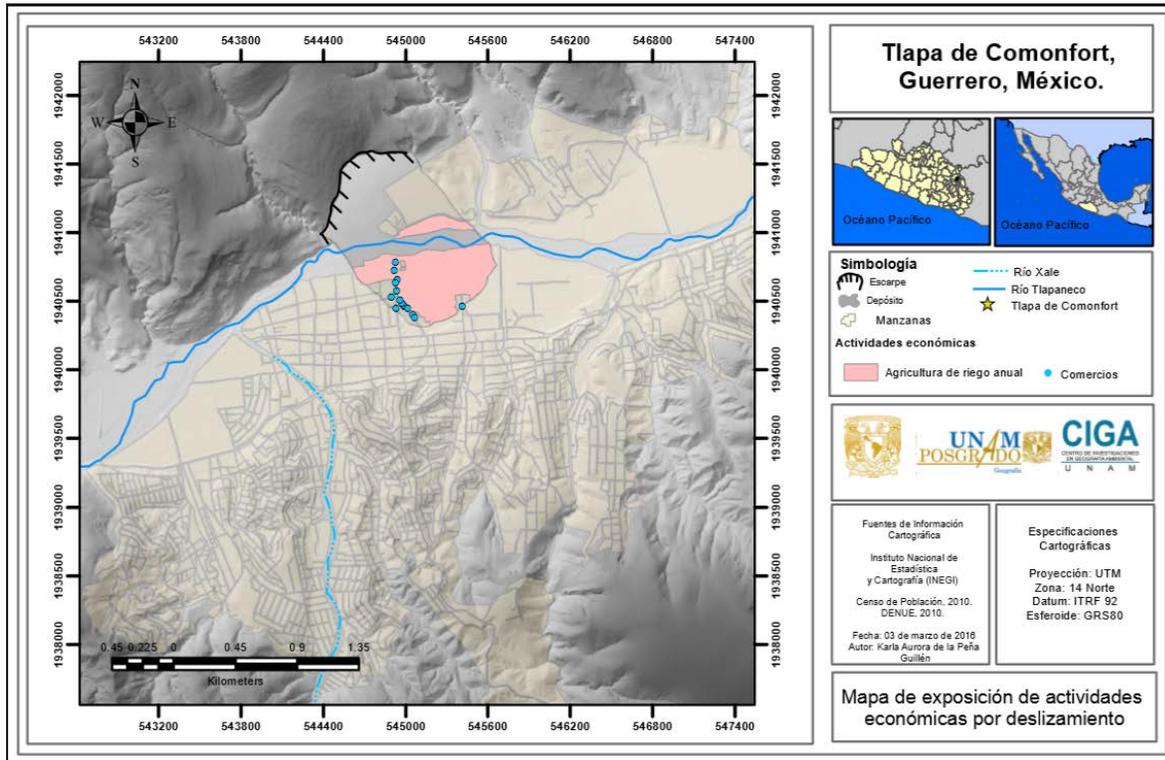


Figura 82. Actividades económicas afectadas por exposición al deslizamiento del Cerro Bola.

A continuación se presenta una tabla con los tipos de giros afectados por la inundación y el porcentaje global con respecto al número total de giros del mismo tipo de toda la ciudad.

Tipo de giro	No. de comercios	Porcentaje global
Industria de las bebidas	1	16.66
Fabricación de productos a base de arcillas y minerales refractarios	1	50.00
Comercio al por mayor	1	0.01
Comercio al por menor	3	0.13
Autotransporte de carga general	1	25
Alquiler de autobuses con chofer	1	100
Servicios de preparación de alimentos y bebidas	2	0.43
Servicios de reparación y mantenimiento de automóviles	1	0.47
Estacionamientos y pensiones para vehículos automotores	1	20

Tabla 20. Tipo de giros y porcentajes globales de los comercios afectados a consecuencia del deslizamiento del Cerro Bola.

5.2.2.1 Vulnerabilidad frente al peligro por Inundación

Las afectación producida por la inundación, provocada a partir del represamiento del Río Tlapaneco (Figuras. 83 y 95) podría ser considerada la de mayores efectos, en términos de pérdidas materiales y aunque no por los deslizamientos directamente si no por la incidencia de éstos sobre los dos afluentes más importantes de Tlapa (en temporada de lluvias). Se puede prever que en el momento que la masa caiga sobre la planicie de inundación provocando un represamiento que no permitir la fluctuación del Río aguas abajo y por lo tanto causar el incremento considerable del Río aguas arriba, trayendo como consecuencia inundaciones sobre otros pequeños asentamientos, por otra parte el problema se intensifica debido al cauce del Río Xale, ya que en temporadas de lluvia hay un crecimiento del cauce lo que provocaría inundaciones sobre las zona más céntricas de la ciudad debido a que el material deslizado también fungiría como un dique y no permitiría su salida al punto de unión con el cauce del Río Tlapaneco.

Se generaron los mapas de las áreas propensas a inundarse con ayuda del software Global Mapper, el cual considera la diferencia entre la parte más baja de la planicie de inundación y la altura mínima de la pila (depósito), siendo así que la diferencia entre estos dos valores nos dio como resultado la altura máxima que alcanzaría el agua en caso de que se presentara el escenario más catastrófico del deslizamiento del cerro de La Cruz provocando que el nivel del agua ascienda aproximadamente a 16 m, a partir de la planicie de inundación, y en el caso de cerro Bola la inundación ascendería a los 22 metros, de igual forma tomando en cuenta que se presente el escenario más catastrófico. El área inundable tiene un área aproximada de 4.6 km² para el Cerro de La Cruz mientras que para el Cerro Bola el área inundable sería de 6.1 km², aguas arriba de los sitios de depósito.

5.2.1.1.1 Evaluación de la vulnerabilidad por exposición a inundación (Cerros de La Cruz y Bola)

En esta sección se describe el análisis de la vulnerabilidad por exposición, vulnerabilidad por sensibilidad y por resiliencia, mediante al modelado de las posibles áreas inundables a consecuencia de los deslizamientos.

➤ Vulnerabilidad por exposición a la inundación (Cerro de La Cruz)

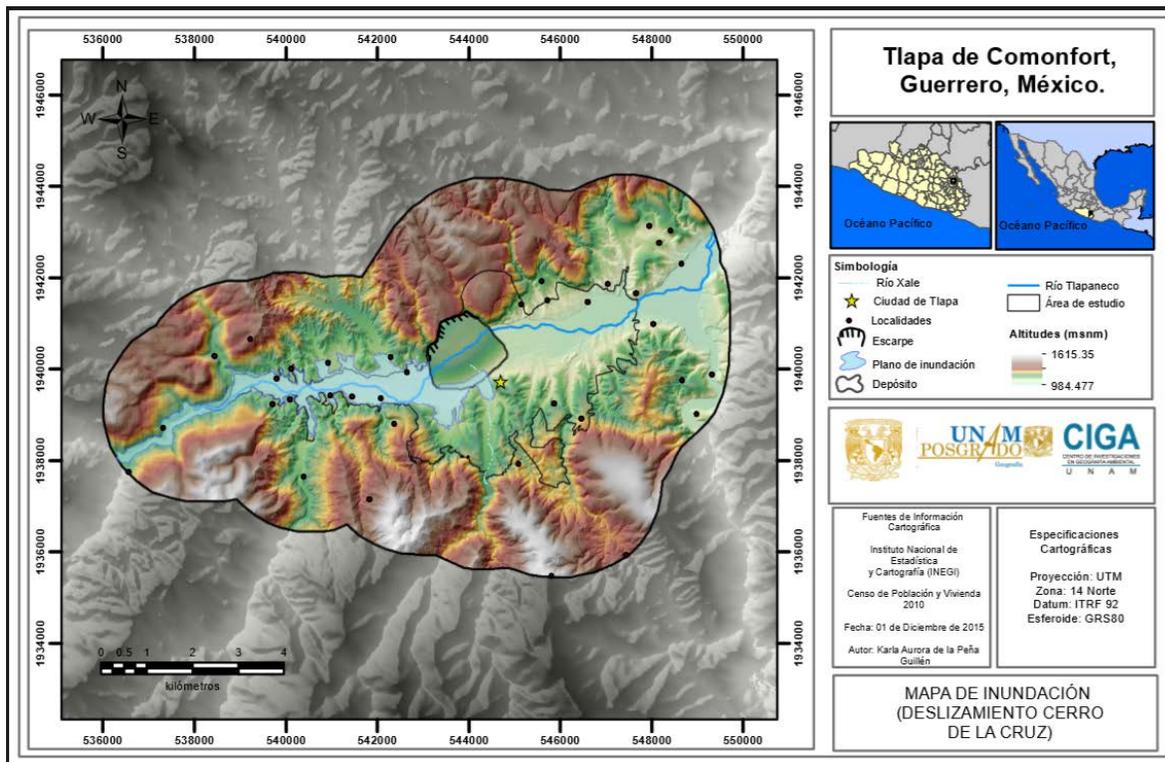


Figura 83. Mapa de susceptibilidad a inundación como consecuencia del deslizamiento del Cerro de La Cruz.

Exposición de la población

De acuerdo con datos del Censo de Población 2010, se estimó que un total de 7,786 habitantes viven en manzanas que se encuentran dentro de la zona de peligro de inundación, de éstas, 2,740 (35.19%) corresponde a la población infantil (0-14 años) dentro del total de población en todas las manzanas; unos 4,781(61.40%) corresponden a personas adultas (15-64); y otras 265 (3.40%) las cuales corresponden a la población de la tercera edad (Figura 84).

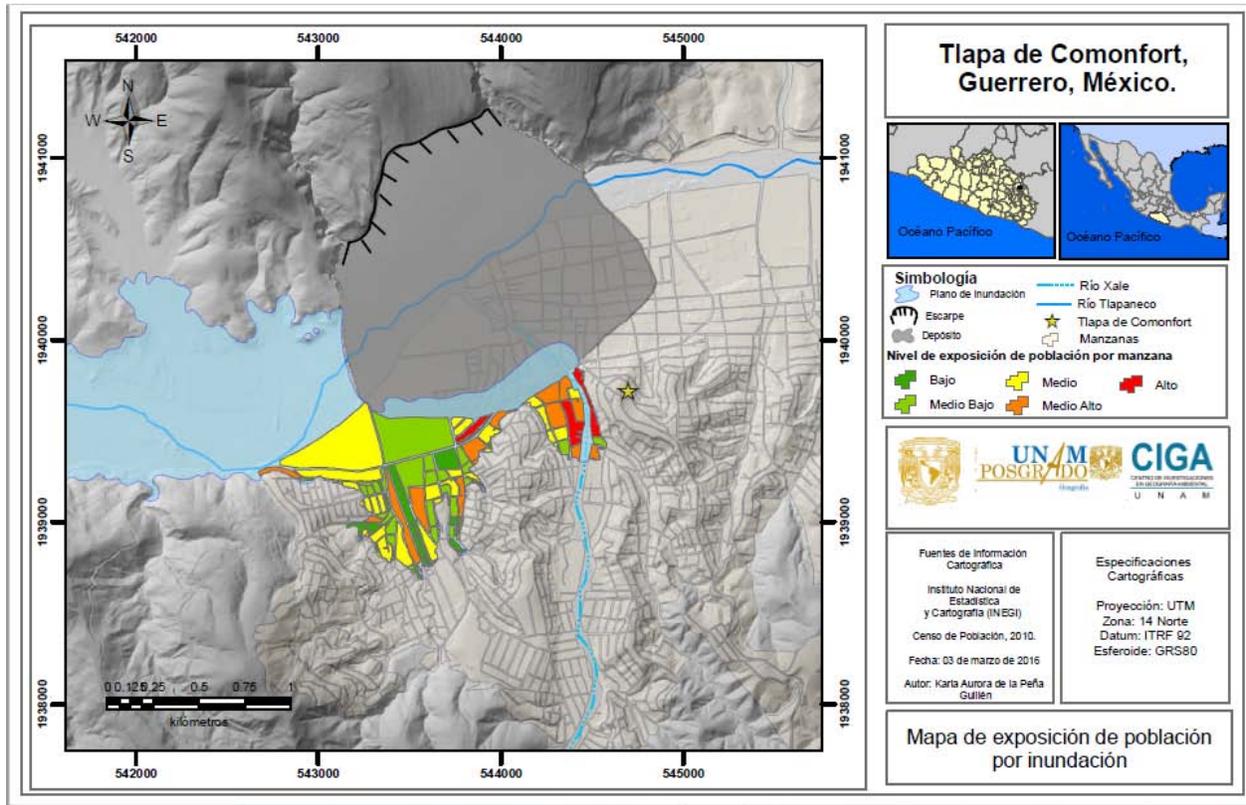


Figura 84. Mapa de vulnerabilidad a exposición de población por manzana por inundación a consecuencia del deslizamiento del Cerro de La Cruz.

No. de habitantes por manzana	Nivel de vulnerabilidad relativa
0-25	Bajo
26-67	Medio Bajo
68-127	Medio
128-202	Medio Alto
203-329	Alto

Tabla 21. Valores de nivel de vulnerabilidad por exposición de población a inundación.

Infraestructura

Exposición de viviendas

Respecto a los inmuebles, según los datos en la ciudad de Tlapa existen 12,404 inmuebles. El resultado del análisis indica que hay aproximadamente 2,670 y de estos unos 2,100 (16.93%) viviendas se encuentran expuestas a la inundación. Se considera este número de viviendas tomando en cuenta el peor escenario, es decir, considerando que toda la superficie susceptible a inundarse, se inunde. También nos indica que las altas concentraciones de viviendas se distribuyen sobre 11 manzanas. (Figura 85).

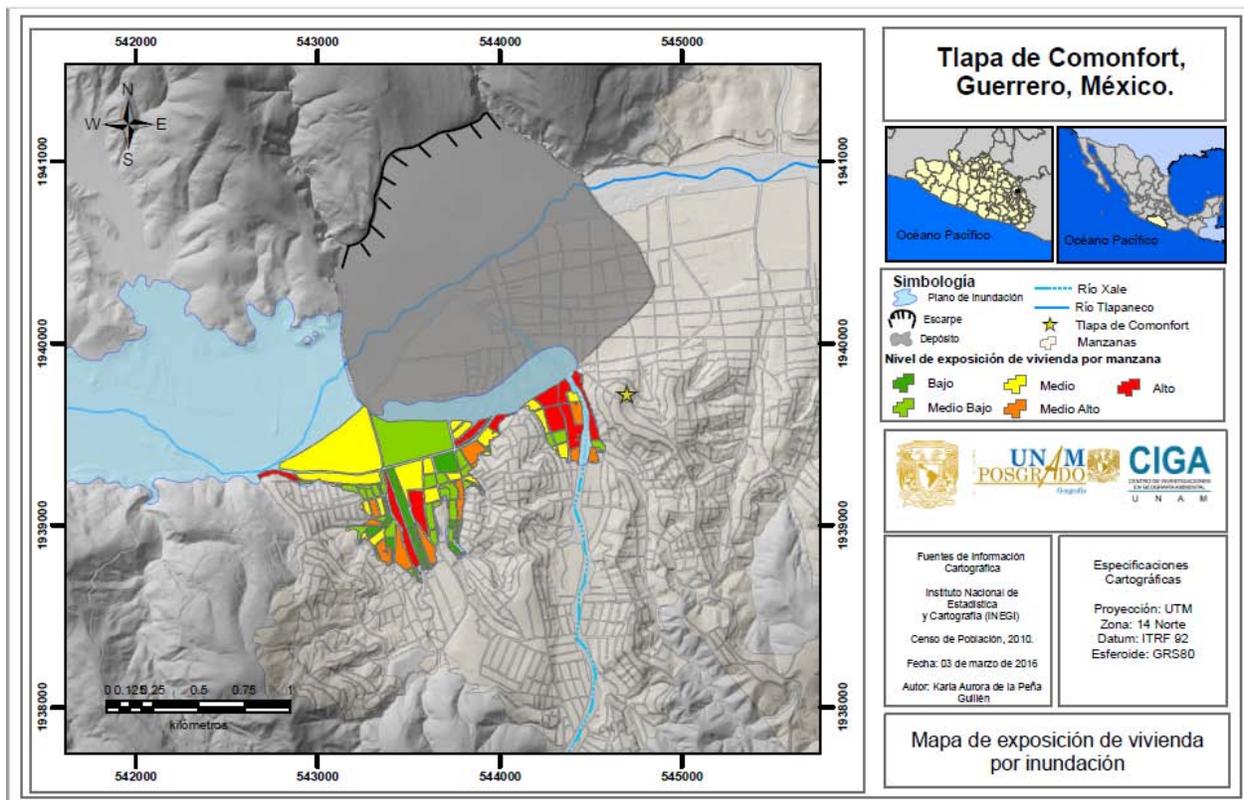


Figura 85. Mapa de vulnerabilidad a exposición de viviendas por inundación a consecuencia del deslizamiento del Cerro de La Cruz.

No. de viviendas por manzana	Nivel de vulnerabilidad relativa
0-8	Bajo
9-17	Medio Bajo
18-28	Medio
29-45	Medio Alto
46-88	Alto

Tabla 22. Valores de nivel de vulnerabilidad por exposición de vivienda a inundación

Exposición de equipamiento urbano

En cuanto al equipamiento urbano afectado comprende 8 centros educativos de diversos niveles, 2 clínicas, 1 hospital, 3 iglesias, 3 instalaciones recreativas, 2 mercados y 1 cementerio (Figura 86).

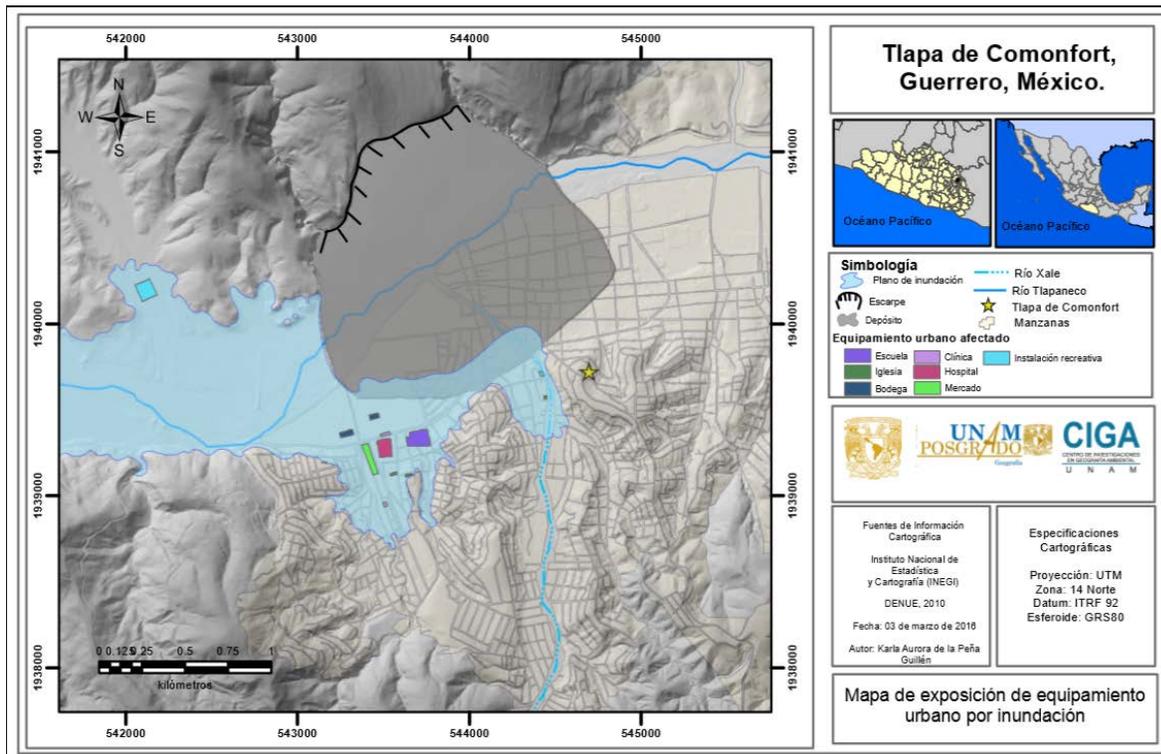


Figura 86. Mapa de vulnerabilidad por exposición de equipamiento urbano por inundación a consecuencia del deslizamiento del Cerro de La Cruz.

Exposición de vialidades

En este indicador está descrito por el impacto que posibilita el desplazamiento de un punto a otro, y por tanto la sensibilidad de las vialidades es más en funcional que estructural, ya que la pérdida de vialidades a efecto de las inundaciones implica daños en la movilidad y la economía de la ciudad. Las calles expuestas a la inundación son: Abasolo, Adolfo López Mateos, Aldama, Allende, Altamirano, Álvaro Obregón, Altamirano, Amapolas, Añorve, Aserradero, Astronomía, Azahares, Benito Juárez, Heroico Colegio Militar, lo que equivalen a 34.8 km de vialidades afectadas por inundación dentro del área de estudio (Figura 87).

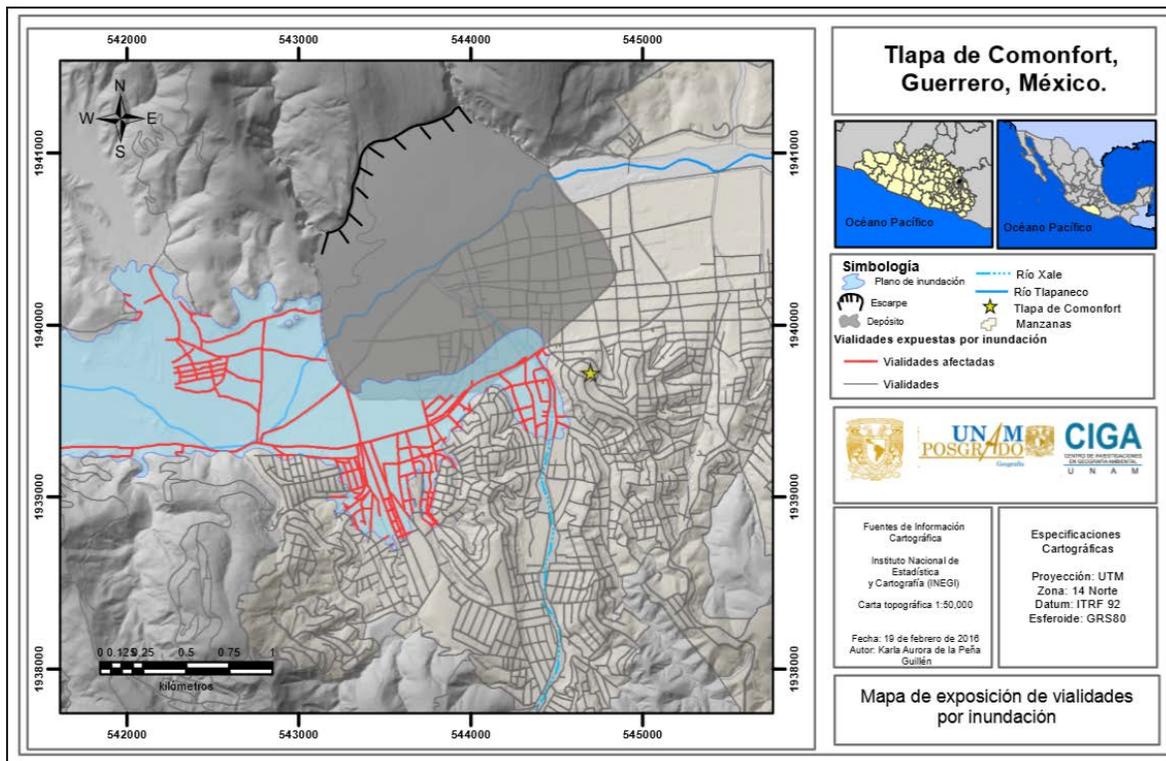


Figura 87. Mapa vulnerabilidad por exposición de vialidades por inundación a consecuencia del deslizamiento del Cerro de La Cruz.

Actividades económicas

El número de hectáreas de actividades agrícolas afectadas por la exposición a la inundación asciende a 135, mientras que el número de establecimientos totales que se verían afectados es de 645 . A consecuencia de la inundación por el represamiento del Río a causa del deslizamiento del Cerro de La Cruz, las pérdidas económicas serán irreversibles, en el caso de los cultivos (Figura 88).

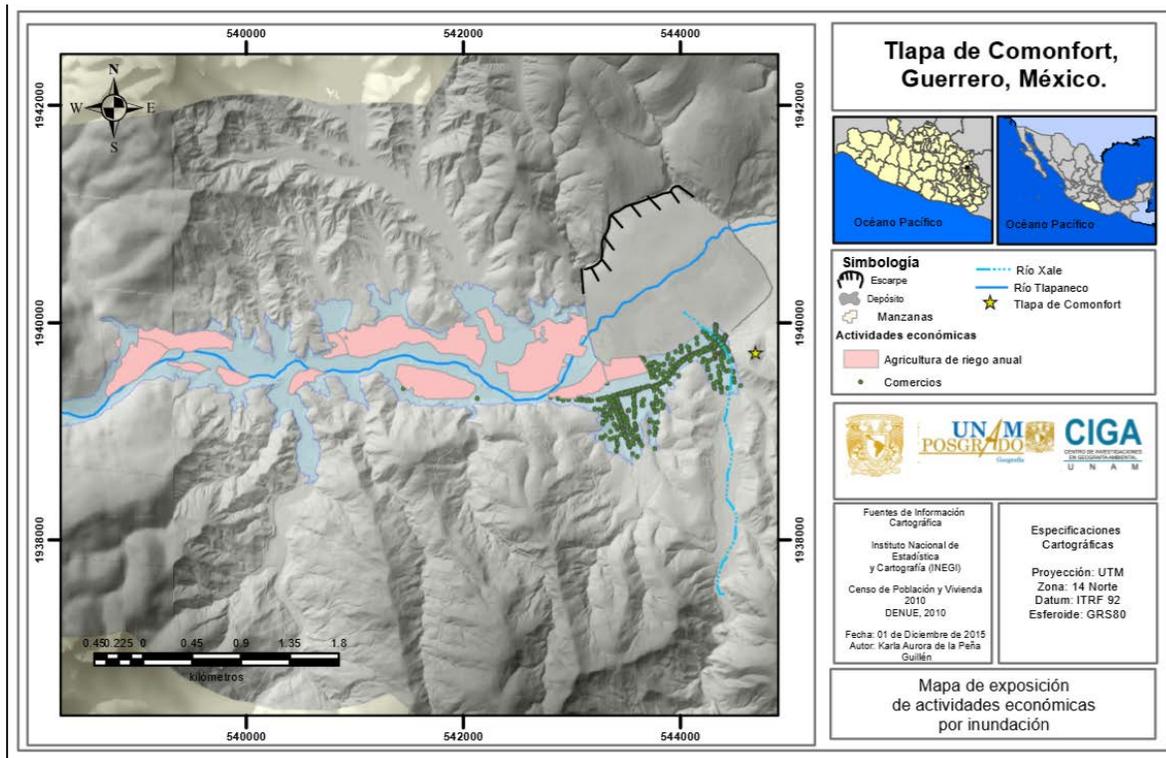


Figura 88. Vulnerabilidad a exposición de actividades económicas, por inundación por consecuencia del deslizamiento del Cerro de La Cruz.

A continuación se presenta una tabla con los tipos de giros afectados por la inundación y el porcentaje global con respecto al número total de giros del mismo tipo de toda la ciudad.

Tipo de giro	No. de comercios	Porcentaje global
Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	3	100
Molienda de granos y de semillas y obtención de aceites y grasas	1	100
Elaboración de helados y paletas	3	23.07
Elaboración de productos de panadería y tortillas	23	16.54
Confección de prendas de vestir	1	3.8
Fabricación de otros productos químicos	1	50.00
Fabricación de cemento y productos de concreto	1	14.28
Fabricación de estructuras metálicas y productos de herrería	12	
Fabricación de camiones y tractocamiones	1	50.00
Fabricación de muebles, excepto de oficina y estantería	2	13.33
Comercio al por mayor	14	14
Comercio al por menor	366	16.41
Servicios de alquiler de bienes muebles	2	33.33
Servicios de apoyo a los negocios	22	15.87
Servicios profesionales, científicos y técnicos	4	
Servicios de salud y de asistencia social privados	11	
Servicios de entretenimiento en instalaciones recreativas y otros servicios recreativos	4	11.42
Servicios artísticos, culturales y deportivos, y otros servicios relacionados	1	2.85
Servicios de alojamiento temporal	4	25.00
Servicios de preparación de alimentos y bebidas	93	20.21
Servicios de reparación y mantenimiento de automóviles	43	
Servicios personales	33	16.83

Tabla 23. Tipo de giros y porcentajes globales de los comercios afectados a consecuencia de la inundación provocada por el deslizamiento del Cerro de La Cruz.

➤ **Vulnerabilidad por de sensibilidad a la inundación (Cerro de La Cruz)**

Se construyeron dos indicadores para determinar la vulnerabilidad por sensibilidad, el primero de la población por condición de edad, y el segundo de la infraestructura por tipo del equipamiento urbano.

➤ **Por condición de edad de la población**

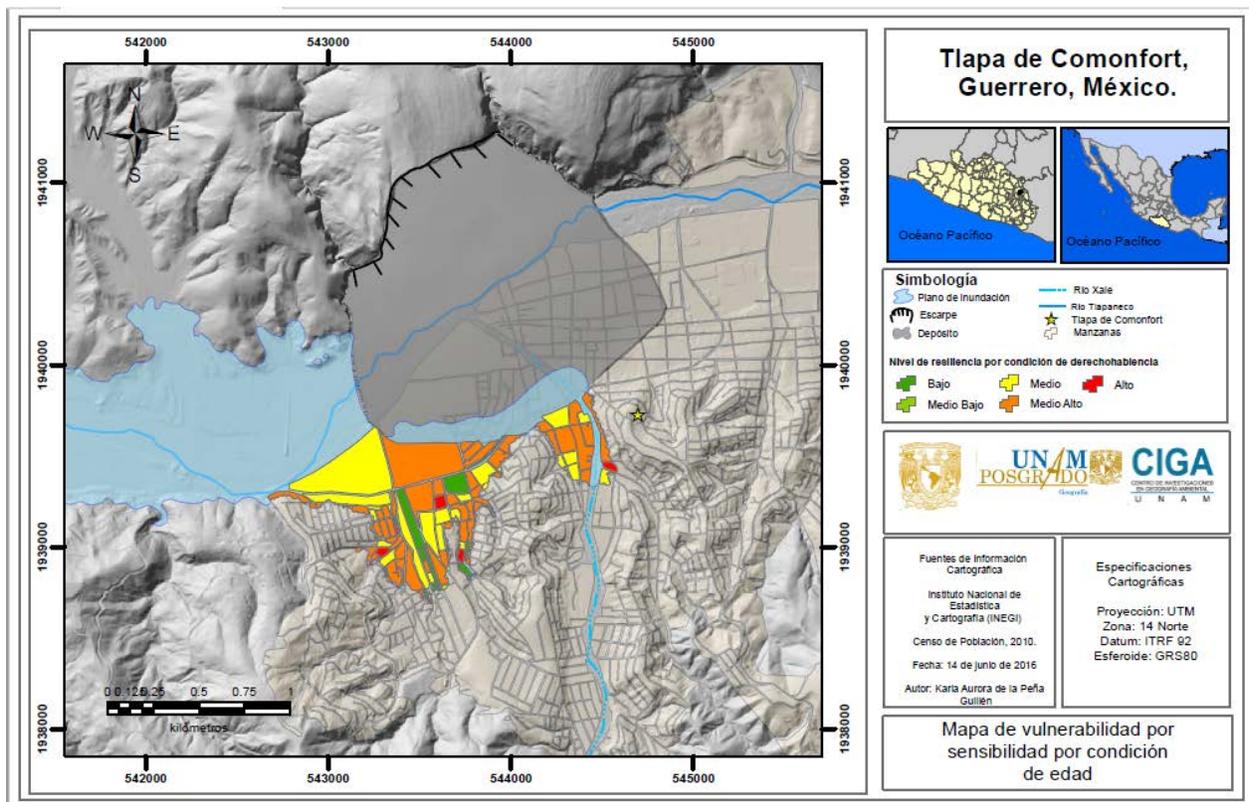


Figura 89. Mapa de vulnerabilidad relativa por sensibilidad de la población por condición de edad.

Rangos estandarizados	Nivel de vulnerabilidad relativa
0-0.19	Bajo
0.20-0.39	Medio Bajo
0.40-0.59	Medio
0.60-0.79	Medio Alto
0.80-1	Alto

Tabla 24. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por sensibilidad por condición de edad de la población de infantil (0-14 años) y adultos mayores (>65 años). Los rangos estandarizados se obtuvieron a partir del valor del porcentaje máximo de habitantes de ambos grupos por manzana, que para este caso fue de 61.11%.

Se puede observar en el mapa que las manzanas coloreadas con rojo son las que presentan un nivel de vulnerabilidad Alto, seguido de las manzanas con coloración naranja con un nivel Medio Alto, esto se debe a que si se considera que los grupos de población que se tomaron en cuenta de niños y adultos mayores son igual de sensibles a la inundación, entonces se asume que las manzanas con los niveles Muy alto y altos son 74 manzanas en las que la población tienen el mayor número de habitantes de estos dos grupos de población (entre niños y/o adultos mayores); en cambio aquellas que presentan niveles Bajo, Medio Bajo y Medio, presentan el menor número de habitantes dentro de estos grupos. Sin embargo, esto no excluye a ninguna manzana a ser vulnerable, sólo se reflejan los niveles de vulnerabilidad relativa por sensibilidad en la cantidad de población existente de niños y adultos mayores en cada una de las manzanas. Las colonias afectadas serían, Caltitlán y El Peligro (Figura 89).

➤ **Por sensibilidad del equipamiento urbano**

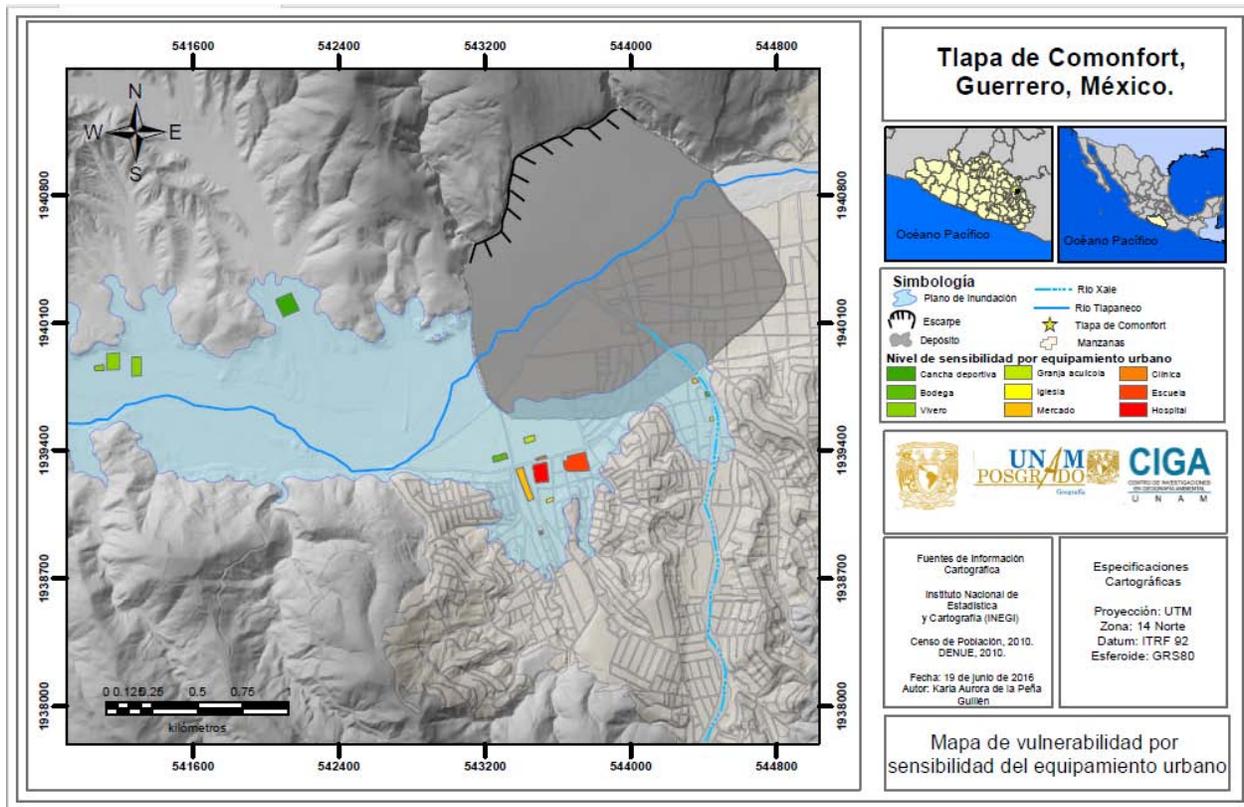


Figura 90. Mapa de sensibilidad por equipamiento urbano (Cerro de La Cruz).

El equipamiento urbano representa una parte importante para las ciudades, pues en el podemos encontrar todo lo relacionado con el equipo y materiales para satisfacer las necesidades de la población. Sin embargo, no están exentos de los eventos de peligro que puedan ocurrir, por ejemplo, en es te caso por inundación. Según los pesos⁸ atribuidos a cada tipo de equipamiento encontrado en la ciudad de Tlapa, se realizó una evaluación de vulnerabilidad por sensibilidad del equipamiento en el cual los resultados se ven reflejados en la cartografía con una coloración diferente para el equipamiento que es menos sensible (verdes) hasta para el de mayor sensibilidad (naranjas y rojos). Los hospitales son los más sensibles según la atribución de los pesos, debido a que

⁸ Para ver pesos asignados ir a Anexos 2, Tabla 3.

estos sitios cuentan con equipos e instrumentos que ante una inundación no son fáciles de recuperar y son de vital importancia para la atención a la población (Figura 90).

➤ **Vulnerabilidad por resiliencia (Cerro de La Cruz)**

A continuación se describen los resultados para cada uno de los indicadores usados para obtener el nivel de vulnerabilidad relativa por resiliencia de la población, lo que indica que a menor valor de vulnerabilidad, su capacidad de recuperación será más rápida.

➤ **Por condición de edad de la población**

Población infantil

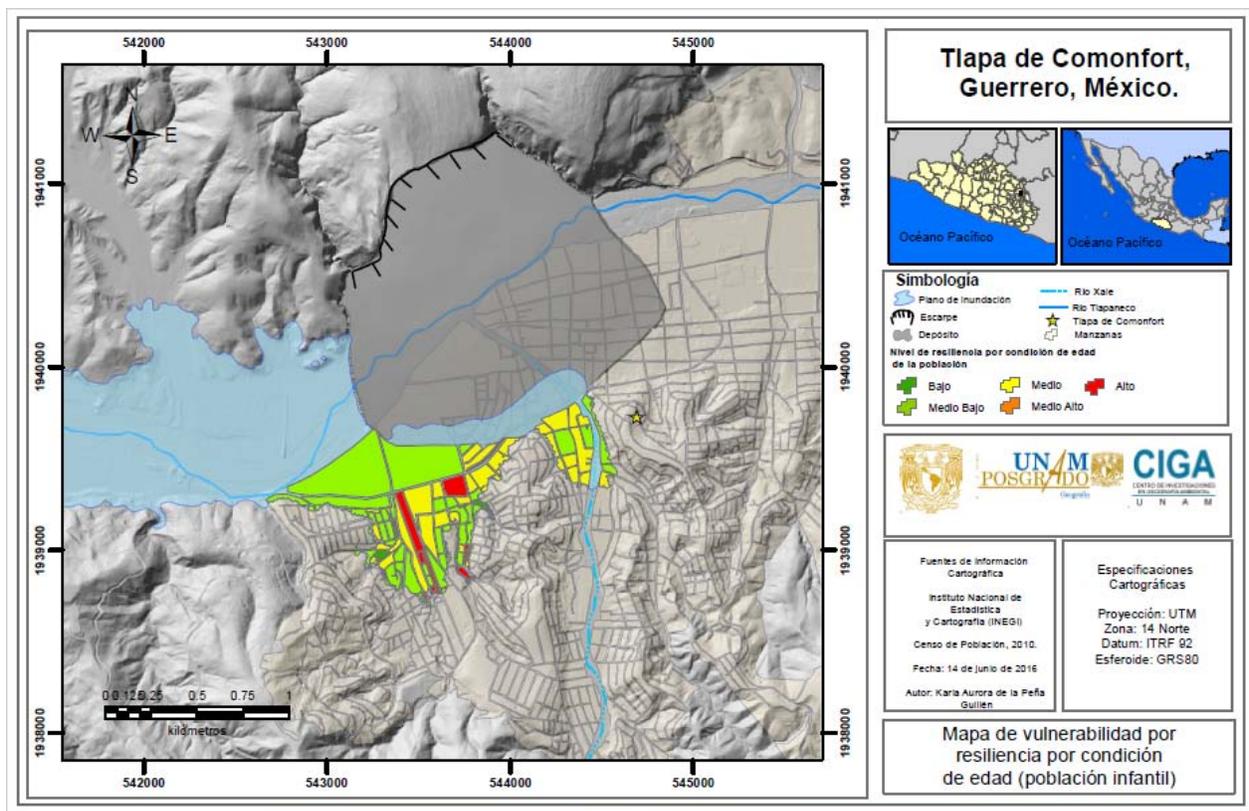


Figura 91. Mapa de vulnerabilidad relativa a resiliencia por condición de edad de la población infantil. A mayor resiliencia menor vulnerabilidad.

Rangos estandarizados	Nivel de vulnerabilidad relativa
0-0.19	Alto
0.20-0.39	Medio Alto
0.40-0.59	Medio
0.60-0.79	Medio Bajo
0.80-1	Bajo

Tabla 25. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por resiliencia por condición de edad de la población infantil por manzana (0-14 años). Los rangos estandarizados se obtuvieron a partir del valor del porcentaje máximo de la población infantil por manzana, que en este caso fue de 57.89%.

El resultado obtenido para la vulnerabilidad de resiliencia usando el indicador de edad para la población infantil (0-14 años) se observa lo siguiente. En contraparte con los resultados de la sensibilidad se observa un número de total de 56 manzanas tienen niveles con niveles Medio Bajo y Bajo de vulnerabilidad relativa, y son aquellas donde existe la mayor población de niños, por lo tanto entre mayor sea la proporción de niños entre los habitantes de las manzanas, mayor será su resiliencia por la capacidad de recuperación que este grupo tiene ante eventos catastróficos, en comparación con los adultos mayores (>65 años), es decir, entre más población infantil haya en una colonia, será menos vulnerable (Figura (91)).

Población de adultos mayores

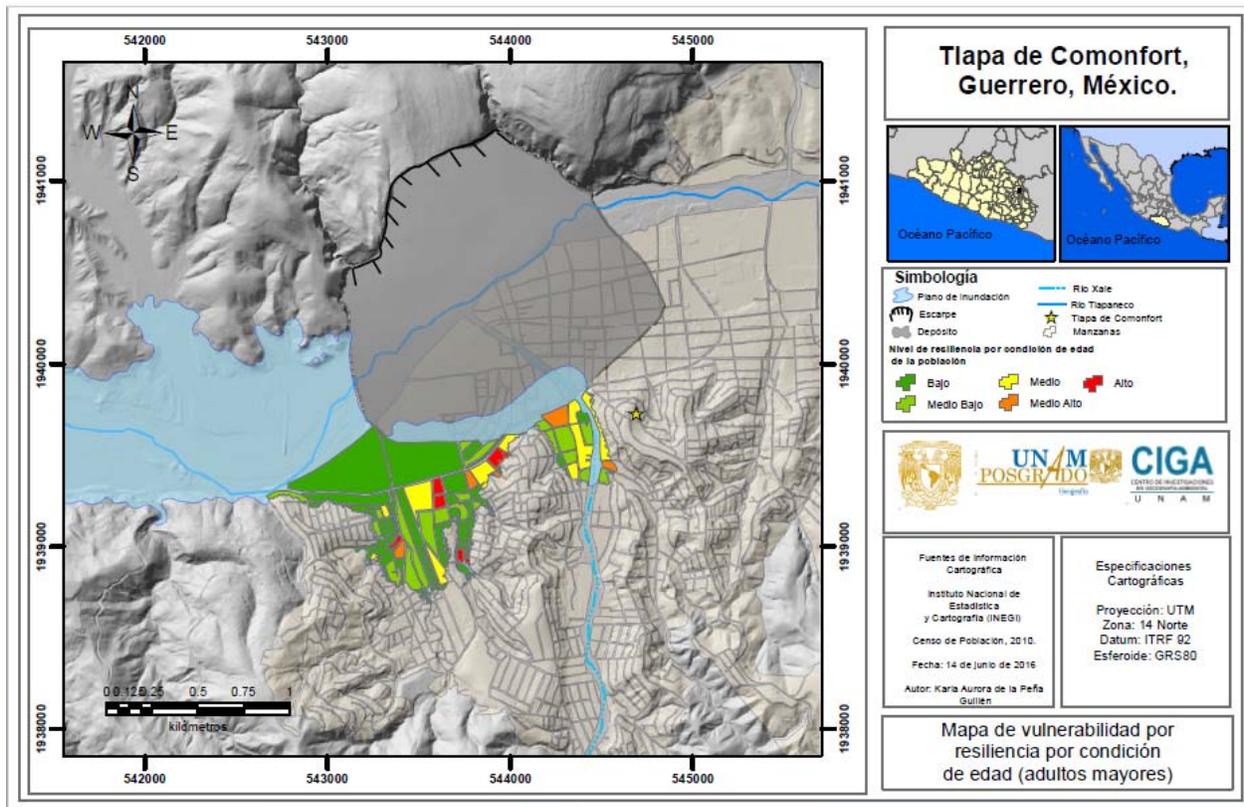


Figura 92. Mapa de vulnerabilidad relativa a resiliencia por condición de edad de la población de adultos mayores.

Rangos estandarizados	Nivel de vulnerabilidad relativa
0-0.19	Bajo
0.20-0.39	Medio Bajo
0.40-0.59	Medio
0.60-0.79	Medio Alto
0.80-1	Alto

Tabla 26. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por resiliencia por condición de edad de la población de adultos mayores por manzana (mayores de 65 años). Los rangos estandarizados se obtuvieron a partir del valor del porcentaje máximo de la población de adultos mayores por manzana, que en este caso fue de 12.1%.

El resultado obtenido para la vulnerabilidad de resiliencia usando el indicador de edad para la población de adultos mayores (>65 años) se observa lo siguiente. Se observa un número de total de 12 manzanas tienen niveles con niveles Alto y Medio Alto de vulnerabilidad relativa, y son aquellas donde existe la mayor población de adulto mayores, por lo tanto entre mayor sea la proporción de adultos mayores entre los habitantes de las manzanas, éstas serán más vulnerables por la lenta capacidad de recuperación que este grupo tiene ante eventos catastróficos, en comparación con la población infantil (0-14 años), es decir, entre mayor sea el porcentaje de población infantil en una colonia, ésta será menos vulnerable, debido a que la capacidad de recuperación en este grupo de la población es mucho más rápida (Figura (92)).

➤ **Por condición de derechohabencia**

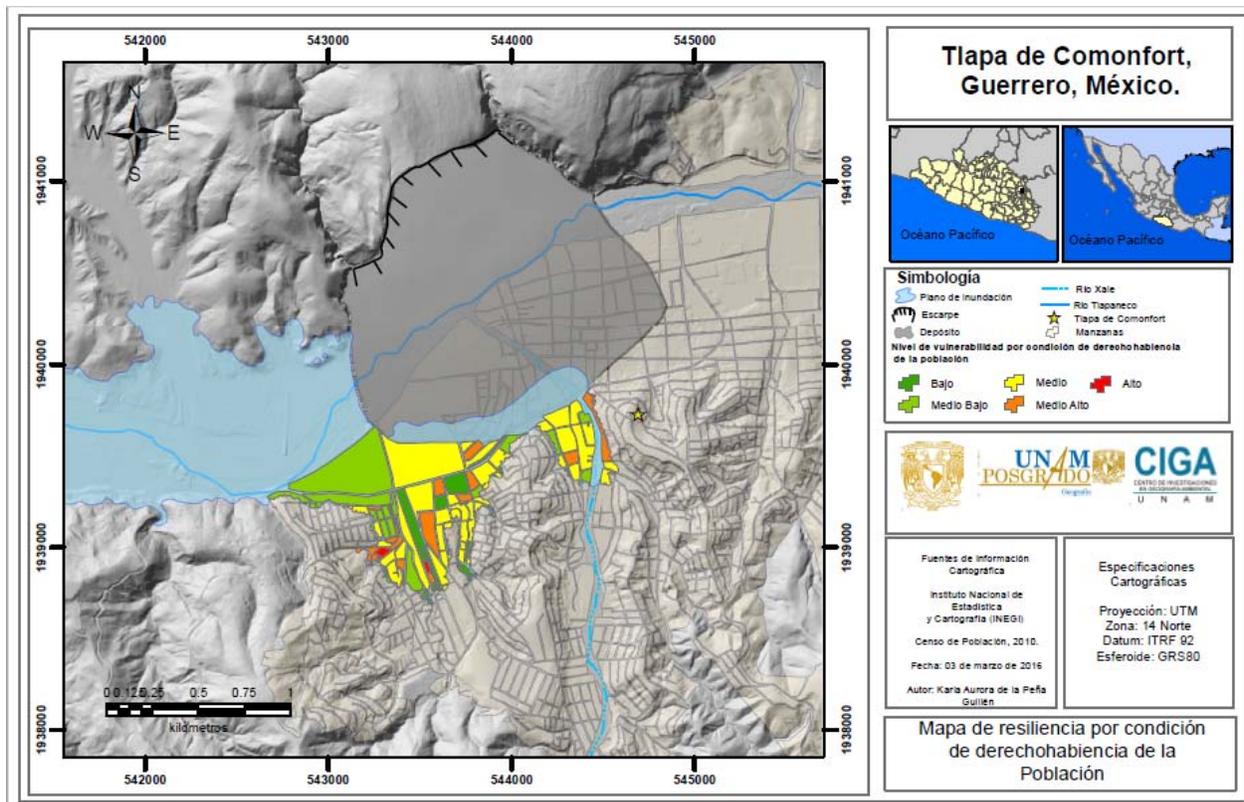


Figura 93. Mapa de vulnerabilidad a resiliencia por condición de derechohabencia. A mayor resiliencia menor vulnerabilidad.

Rangos estandarizados	Nivel de vulnerabilidad relativa
0-0.19	Muy Bajo
0.20-0.39	Bajo
0.40-0.59	Moderado
0.60-0.79	Alto
0.80-1	Muy Alto

Tabla 27. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por resiliencia por condición de derechohabiencia respecto al porcentaje de personas por manzana. Los rangos estandarizados se obtuvieron a partir del valor del porcentaje máximo de la población sin derechohabiencia por manzana, que en este caso fue de 94.73%.

Los resultados obtenidos para esta condición utilizando como indicador a la población que no cuenta con derechohabiencia, muestran la heterogeneidad en la distribución de las manzanas en las que se encuentran distribuida la población que cuenta con algún tipo de seguro médico, se puede observar que la mayor parte de las manzanas se encuentran coloreadas de amarillo, lo que significa la mayor parte de la población se encuentra en un nivel moderado de vulnerabilidad; las manzanas que presentan las coloraciones verde representan niveles Bajo y Medio Bajo de vulnerabilidad, lo que significa que en caso de ocurrencia de inundación la población que ahí se encuentra sería la de mayor capacidad de recuperación al contar con la afiliación a algún seguro médico, por otro lado, tenemos las manzanas coloreadas de naranja y rojo que representan niveles de vulnerabilidad Alto y Medio Alto, es decir, en esas manzanas específicamente, la mayoría de la población carece de algún tipo de seguro médico con el que puedan apoyarse, una vez ocurrido el evento, por ser menos resilientes en este aspecto. (Figura 93).

➤ Por condición económica

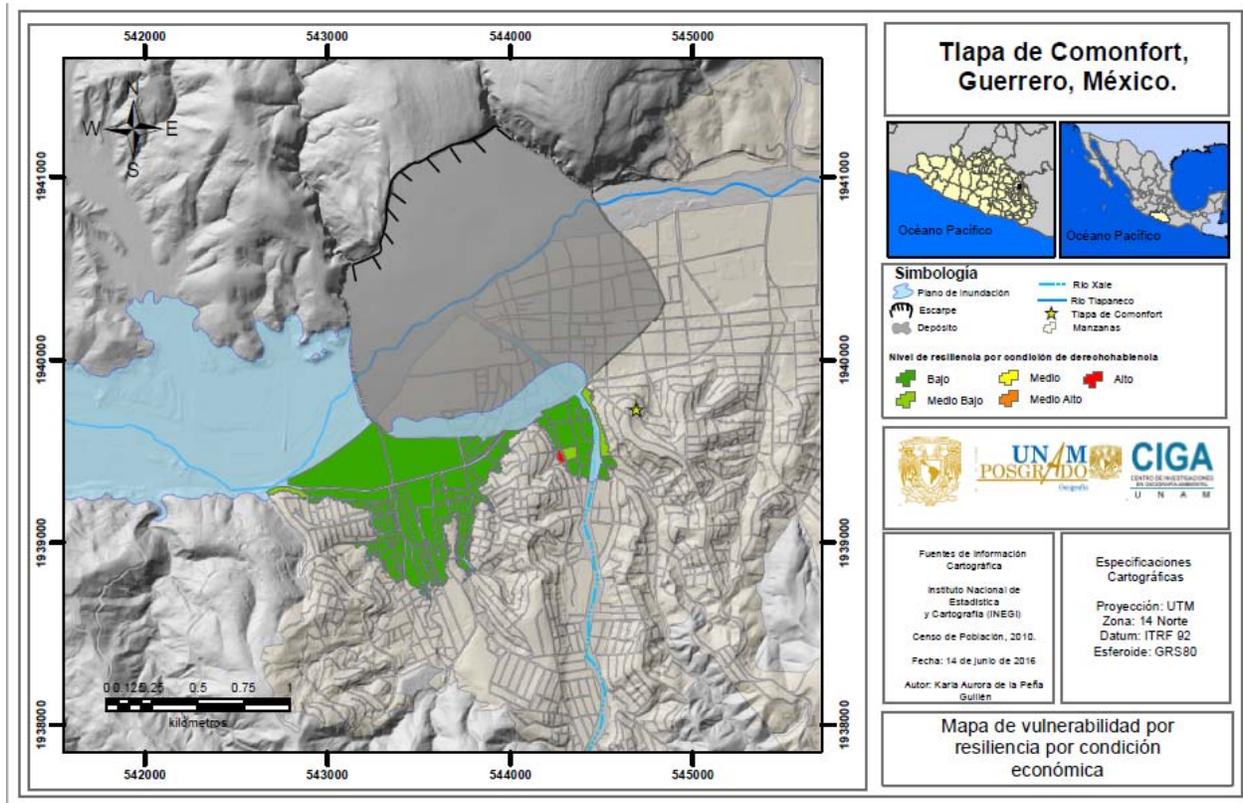


Figura 94. Mapa de vulnerabilidad a resiliencia por condición económica. A mayor resiliencia menor vulnerabilidad. A mayor resiliencia menor vulnerabilidad.

Rangos estandarizados	Nivel de vulnerabilidad relativa
0-0.19	Bajo
0.20-0.39	Medio Bajo
0.40-0.59	Modio
0.60-0.79	Medio Alto
0.80-1	Alto

Tabla 28. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por resiliencia por condición económica respecto al porcentaje de personas por manzana. Los rangos estandarizados se obtuvieron a partir del valor del porcentaje máximo de la población desocupada por manzana, que en este caso fue de 7.69%.

Otro indicador utilizado para evaluar la resiliencia de la población es el de su condición económica, pues de eso depende gran parte de la recuperación que tenga la población. Sin embargo, la población no es homogénea en este aspecto y para evaluar esta condición se utilizó como indicador la población desocupada de cada manzana, bajo el supuesto de que al no contar con algún empleo o actividad que sea remunerada es menor la posibilidad de recuperarse ante el evento de inundación, a diferencia de aquellos que sí cuentan con algún empleo activo, condición que les pueda facilitar el recuperar su patrimonio. Afortunadamente en el caso de las manzanas afectadas por la inundación provocada por el depósito del Cerro de La Cruz, se puede observar que la mayoría de las manzanas (93.10%) se encuentran en niveles de Bajo y Medio Bajo de vulnerabilidad, es decir que la población tiene algún tipo de ocupación que le es retribuida, en el sentido que entre menos personas haya sin ocupación en las manzanas, éstas serán menos vulnerables (Figura 94).

➤ Vulnerabilidad por condición de exposición a inundación (Cerro Bola)

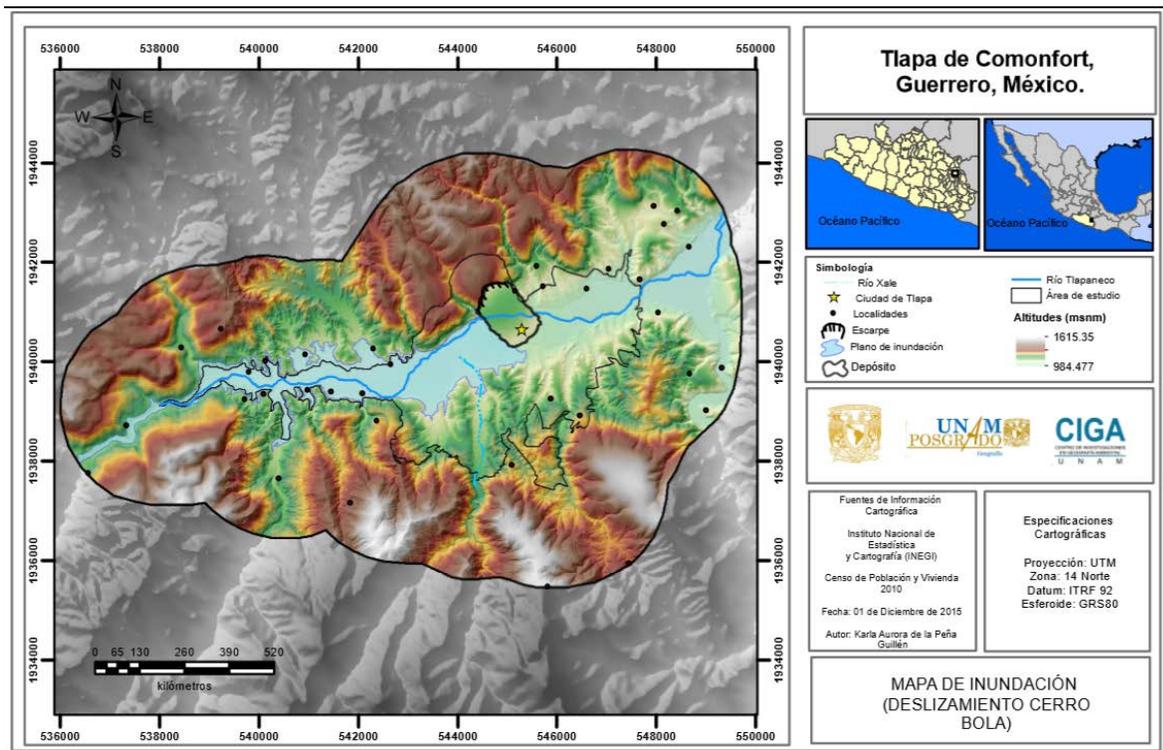


Figura 95. Mapa de susceptibilidad a inundación como consecuencia del deslizamiento del Cerro Bola.

Exposición de la población

La población expuesta a inundaciones se encuentra distribuida en espacios que presentan condiciones de vulnerabilidad por exposición a este fenómeno. Las colonias que se verían seriamente afectadas serían en las colonias Caltitlán, El Peligro, Centro y las Palmas.

Sobre la población expuesta a la inundación se tiene un total de 7,688 habitantes distribuidos en 192 manzanas, de las cuales la población de niños (0-14) es de 4,954 y representan el 40.8% de la población total de habitantes de las manzanas afectadas, mientras que de l grupo de edades de 15-64 serían afectadas 6,411 personas representando el 52.85% y por lo que respecta a los adultos de la tercera edad el total de personas afectadas para este grupo es de 764 y representan el 6.29% de la población de las manzanas susceptibles al peligro por inundación (Figura 95).

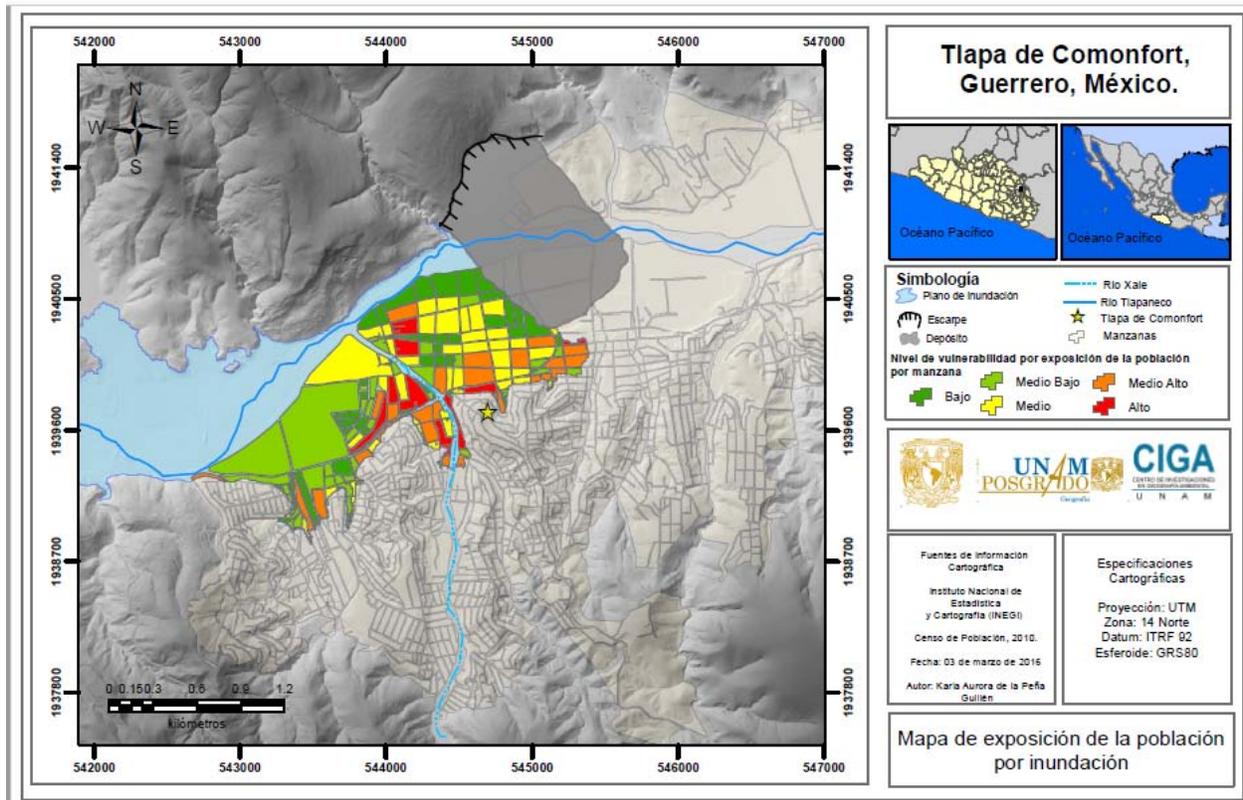


Figura 96. Mapa de vulnerabilidad a exposición de población, por inundación a consecuencia del deslizamiento del Cerro Bola

Valores (total de habitantes por manzana)	Nivel de vulnerabilidad relativa
0-37.00	Bajo
37.00-86.00	Medio Bajo
86.00-149.00	Medio
149.00-229.00	Medio Alto
229.00-329.00	Alto

Tabla 29. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por exposición de la población, respecto al total de habitantes por manzana.

Infraestructura

Viviendas

Respecto a los inmuebles, se estima que en la ciudad de Tlapa existen 12,404 inmuebles de los cuales hay aproximadamente 5,425 (43.73%) viviendas se encuentran expuestas a inundarse dentro de las manzanas afectadas. Se considera este número de viviendas tomando en cuenta el peor escenario, es decir, considerando que toda la superficie susceptible a inundarse, se inunde (Figura 97).

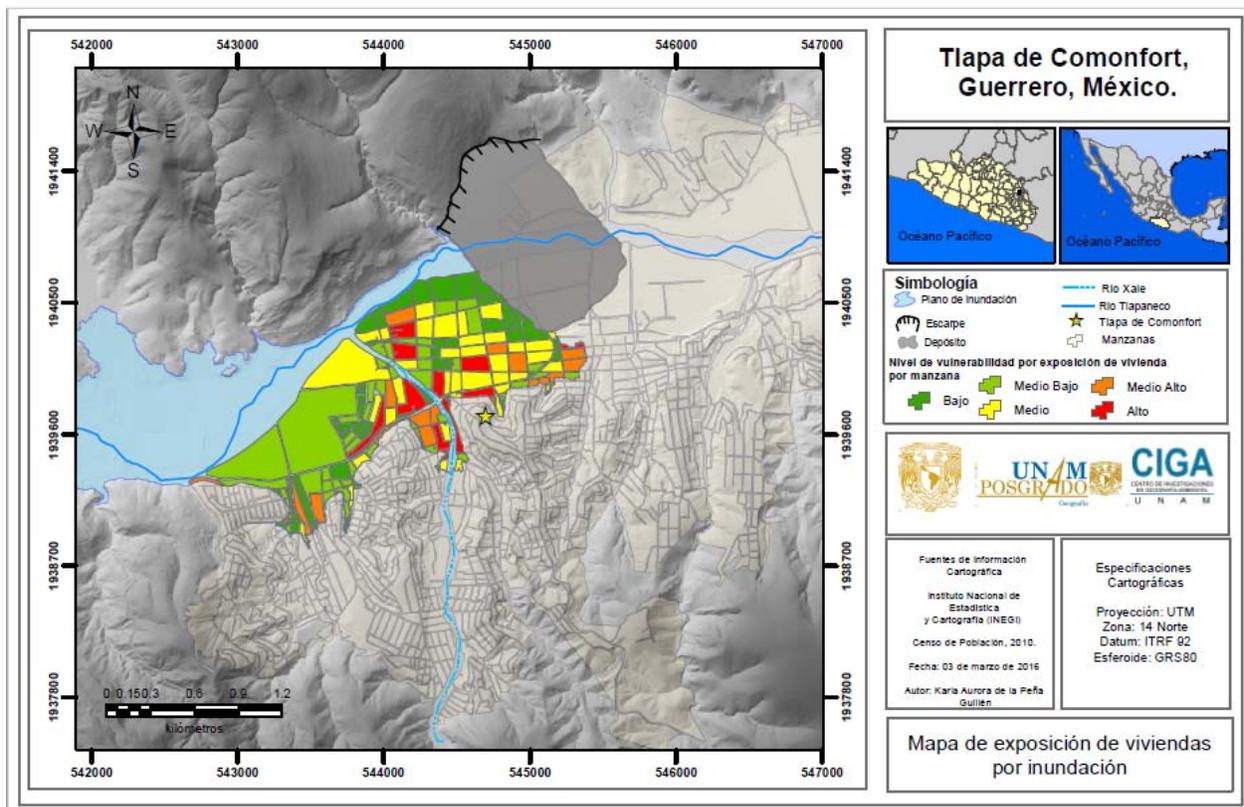


Figura 97. Mapa de vulnerabilidad a exposición de viviendas por inundación a consecuencia del deslizamiento del Cerro Bola.

A continuación se presenta una tabla con los tipos de giros afectados por la inundación y el porcentaje global con respecto al número total de giros del mismo tipo de toda la ciudad.

Valores (No. de viviendas por manzana)	Nivel de vulnerabilidad relativa
0-11	Muy Bajo
12-26	Bajo
27-43	Moderado
44-65	Alto
66-100	Muy Alto

Tabla 30. Total de viviendas afectadas por exposición a inundación (Cerro Bola).

Exposición del equipamiento urbano

En cuanto al equipamiento urbano afectado consta de 17 centros educativos de diversos niveles, 2 hospitales, 8 iglesias, 6 instalaciones recreativas, 4 mercados, 2 súper mercados, 3 viveros, 5 bodegas de abastecimiento, 4 clínicas, 2 cementerios, una granja acuícola, instalación gubernamental, 1 cementerio, una distribuidora de bebidas gaseosas (Figura 98).

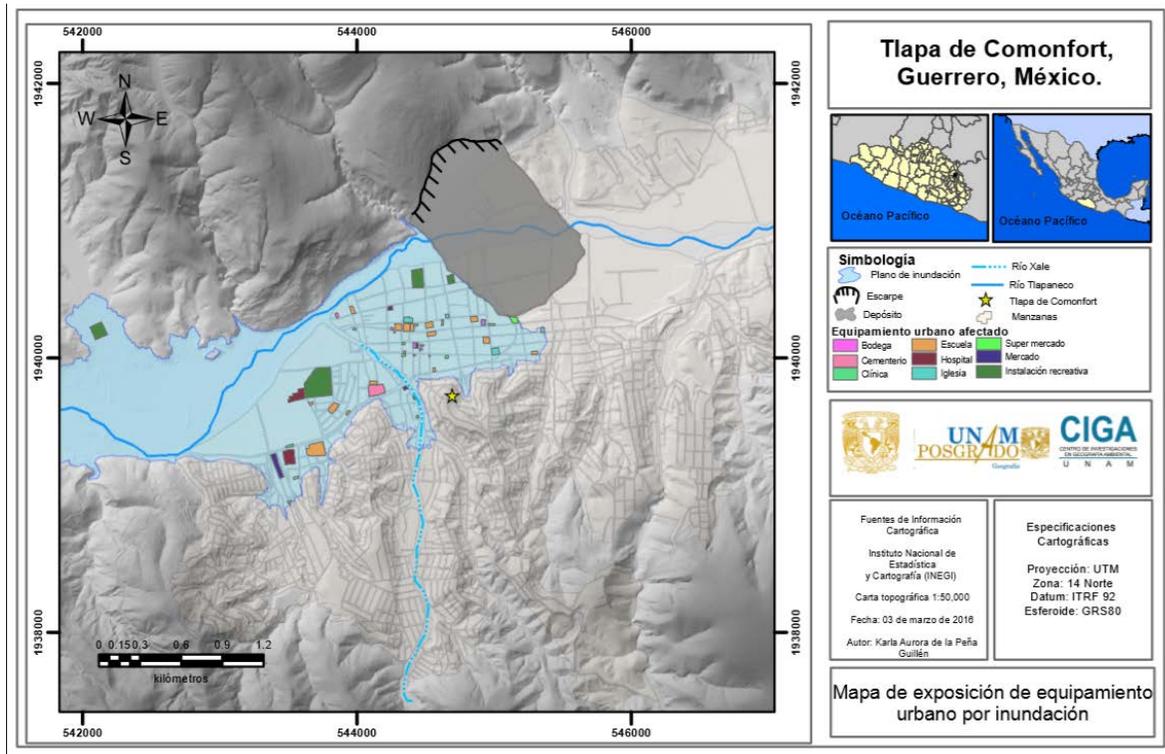


Figura 98. Mapa de vulnerabilidad a exposición de equipamiento urbano por inundación a consecuencia del deslizamiento del cerro Bola.

Exposición de vialidades

Las vialidades afectadas por exposición a la inundación, en total son 10 de abril, 10 de mayo, 12 de octubre, 16 de septiembre, 18 de marzo, 20 de noviembre, 24 de febrero, 30 de abril, 5 de mayo, Abasolo, Aldama, Aeropuerto, Aldama, Allende, Altamirano, Amapolas, Álvaro Obregón, Añorve, Aserradero, Benito Juárez, Astronomía, Caltitlán, Chapingo, Chula Vista, Comonfort, Constitución, Costa Azul, Crisantema, Cuauhtemoc, Cuba, Cuitlahuac, Campo Santo, De Gálvez, Indio Triste, Donato Miranda, Ejido, El Pipila, Elpidio Cortéz, Emiliano Zapata, Florida, Galeana, Guerrero, Gardenias, Hidalgo, Himno Nacional, Igualita, Independencia, Insurgentes, Jacarandas, José Francisco Ruíz, Jesús Hernández, Calle Heroico Colegio Militar, entre otras. El total de vialidades afectadas resulta en 55.31 Km, en su mayoría en calles pavimentadas al interior de la ciudad, de los cuales 9.35 Km serían afectados de la calle Heroico Colegio Militar la

cual es el carretera principal que dirige al estado de Puebla y que atraviesa la ciudad de extremo a extremo (Figura 99).

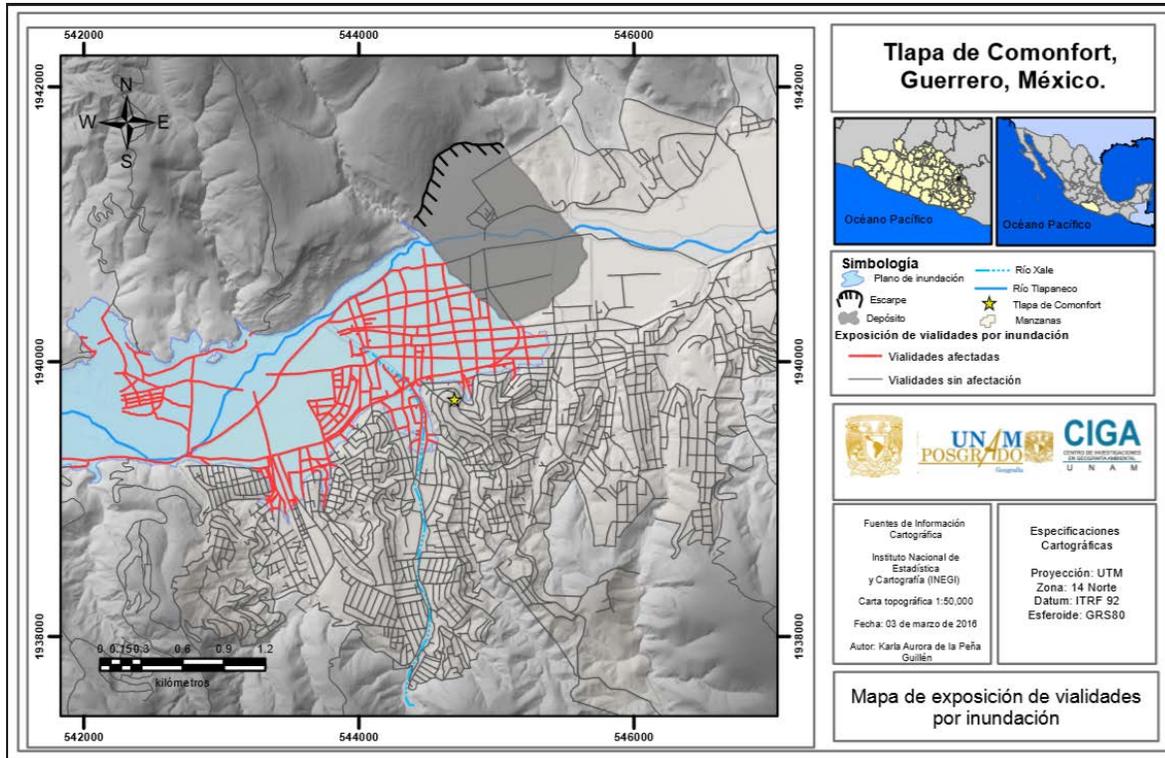


Figura 99. Mapa de vulnerabilidad a exposición de vialidades por inundación a consecuencia del deslizamiento del Cerro Bola.

Actividades económicas

Exposición de cultivos y comercios

A consecuencia de la inundación por el represamiento del Río a causa del deslizamiento del Cerro Bola las pérdidas económicas serán irreversible, en el caso de los cultivos, los que son en su totalidad de agricultura de riesgo anual y se estima que habrá una pérdida de 156 ha. Para establecimientos comerciales, los datos indican que serían afectados de 2257 comercios de distintos giros (Figura 99).

A continuación se presenta una tabla con los tipos de giros afectados por la inundación y el porcentaje global con respecto al número total de giros del mismo tipo de toda la ciudad.

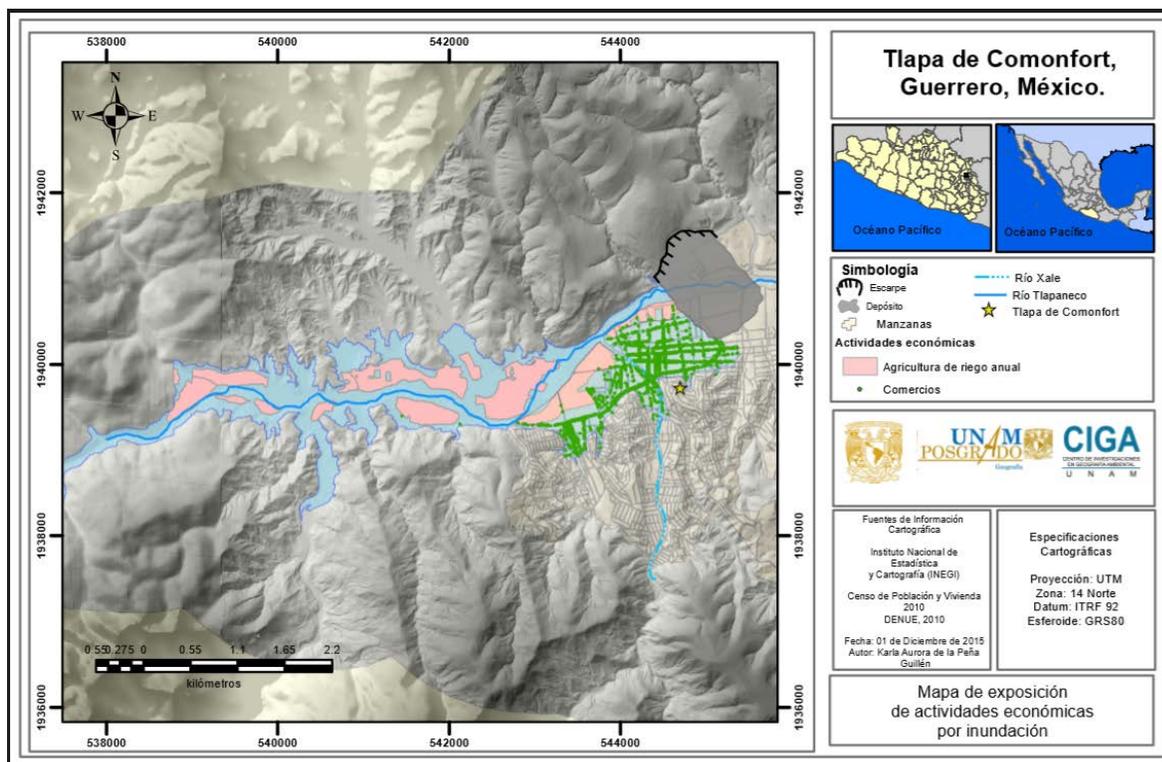


Figura 100. Vulnerabilidad por exposición de actividades económicas a inundación a consecuencia del deslizamiento del Cerro Bola.

Tipo de giro	No. de comercios	Porcentaje global
Pesca y captura de peces	1	50.00
Minería de arena y grava para la construcción	2	
Captación, tratamiento y suministro de agua	1	100
Construcción de obras de urbanización	1	100
Trabajos de albañilería	1	100
Instalaciones hidrosanitarias y de gas	1	100
Elaboración de helados y paletas	5	38.46
Elaboración de harina de otros productos agrícolas	1	100
Elaboración de productos de panadería y tortillas	63	45.32
Industria de las bebidas	2	33.33
Fabricación de insumos textiles y acabado de textiles	5	19.23
Fabricación de otros productos de cartón y papel	1	50

Impresión de formas continuas y otros impresos	2	66.66
Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	2	33.33
Fabricación de productos de herrería	32	39.50
Fabricación de muebles, excepto cocinas integrales, muebles modulares de baño y muebles de oficina y estantería	5	33.33
Joyería de metales y piedras no preciosos y de otros materiales	1	100
Comercio al por mayor	43	43
Comercio al menor	1318	59.12
Transporte colectivo urbano y suburbano de pasajeros en autobuses de ruta fija	1	6.66
Otro transporte terrestre de pasajeros	3	100
Servicios de mensajería y paquetería foránea	6	75
Operadores de servicios de telecomunicaciones alámbricas	1	50.00
Servicios financieros y de seguros	16	57.14
Servicios inmobiliarios	5	55.55
Servicios moviliarios	4	66.66
Servicios profesionales, científicos y técnicos	18	58.06
Servicios de apoyo a los negocios	74	58.73
Servicios educativos privados	12	60
Servicios de salud y de asistencia social privados	58	81.42
Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	19	90.47
Servicios de alojamiento temporal	12	75
Servicios de preparación de alimentos y bebidas	320	69.56
Servicios de reparación y mantenimiento de vehículos	70	67.30
Servicios personales	151	77.04

Tabla 31. Tipo de giros y porcentajes globales de los comercios afectados a consecuencia de la inundación provocada por el deslizamiento del Cerro Bola.

➤ Vulnerabilidad por condición de sensibilidad

A continuación se describen los resultados para cada uno de los indicadores usados para obtener el nivel de vulnerabilidad relativa por resiliencia de la población, lo que indica que a menor valor de vulnerabilidad, su capacidad de recuperación será más rápida.

➤ Por condición de edad de la población

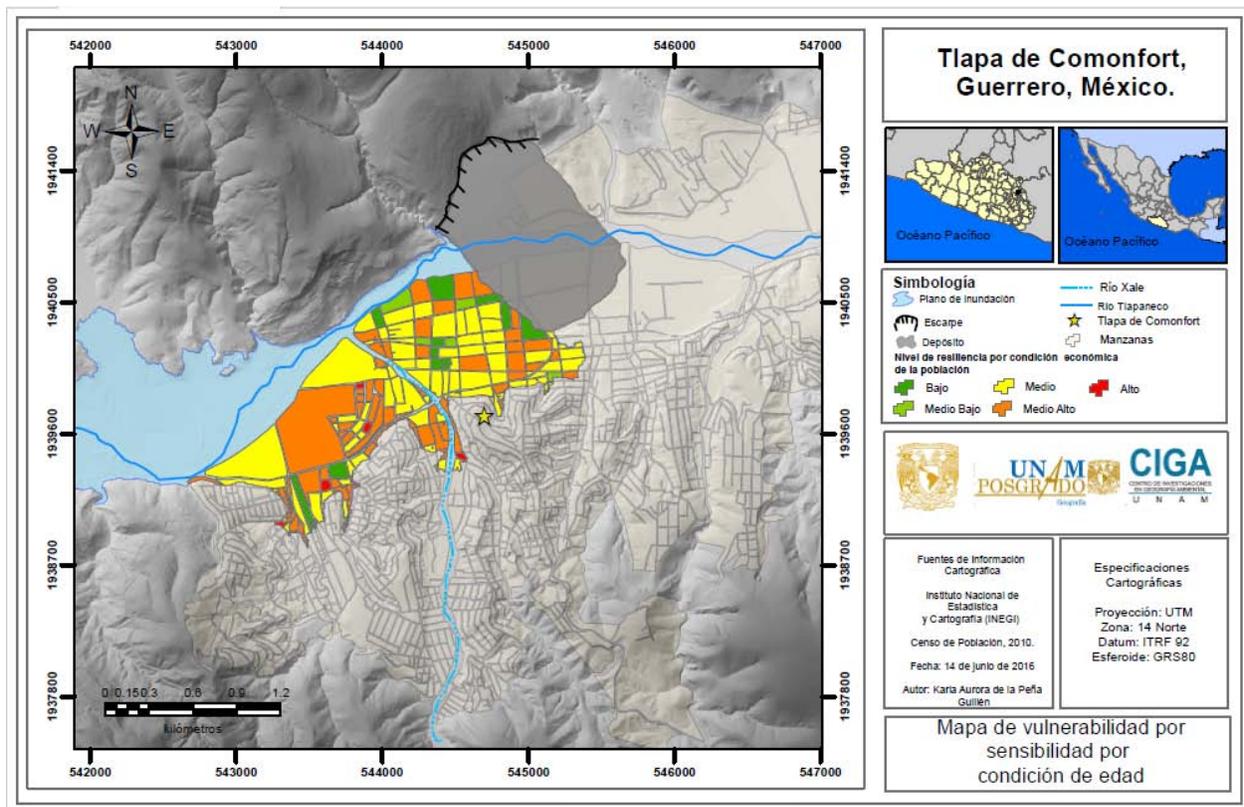


Figura 101. Mapa de vulnerabilidad relativa por sensibilidad de la población por condición de edad (Cerro Bola).

Rangos estandarizados	Nivel de vulnerabilidad relativa
0-0.20	Bajo
0.21-0.40	Medio Bajo
0.41-0.60	Medio
0.61-0.80	Medio Alto
0.81-1	Alto

Tabla 32. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por sensibilidad por condición de edad de la población de infantil (0-14 años) y adultos mayores >65 años). Los rangos estandarizados se obtuvieron a par tir del valor del porcentaje máximo de habitantes de am bos grupos por manzana, en este caso fue de 61.53%.

Se puede observar en el mapa que las manzanas coloreadas con rojo y naranja son las que presentan un nivel de vulnerabilidad Alto y Medio Alto, seguido de las manzanas con coloración amarillo con un nivel Medio, esto se debe a que si se considera que los grupos de población que se tomaron en cuenta de niños y adultos mayores son igual de sensibles a la inundación, entonces se asume que las manzanas con los niveles Alto y Medio Alto son 78 manzanas en las que la población tienen el mayor número de habitantes de estos dos grupos de población (entre niños y/o adultos mayores); en cambio aquellas que presentan niveles Bajo, Medio Bajo, y Medio, presentan el menor número de habitantes dentro de estos grupos. Sin embargo, esto no excluye a ninguna manzana a ser vulnerable, sólo se reflejan los niveles de vulnerabilidad relativa por sensibilidad de la población existente, es decir, el porcentaje de niños y adultos mayores en cada una de las manzanas. Las colonias afectadas serían, Caltitlán, Santa Anita y Centro (Figura 101).

➤ **Por sensibilidad del equipamiento urbano**

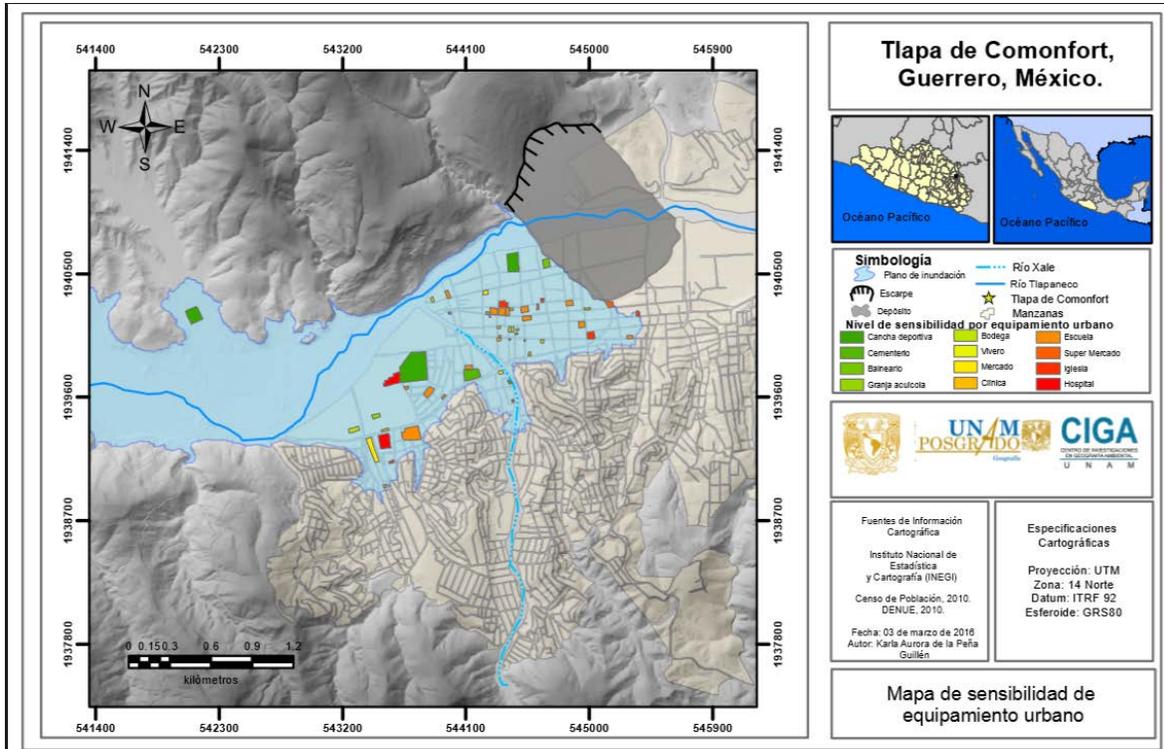


Figura 102. Mapa de sensibilidad por equipamiento urbano.

El equipamiento urbano representa una parte importante para las ciudades, pues en el podemos encontrar todo lo relacionado con el equipo y materiales para satisfacer las necesidades de la población. Sin embargo, no están exentos de los eventos de peligro que puedan ocurrir, por ejemplo, en este caso por inundación. Según los pesos⁹ atribuidos a cada tipo de equipamiento encontrado en la ciudad de Tlapa, se realizó una evaluación de vulnerabilidad por sensibilidad del equipamiento en el cual los resultados se ven reflejados en la cartografía con una coloración diferente para el equipamiento que es menos sensible (verdes) hasta para el de mayor sensibilidad (naranjas y rojos). Los hospitales son los más sensibles según la atribución de los pesos, debido a que estos sitios cuentan con equipo e instrumental que ante una inundación no son fáciles de recuperar y son de vital importancia para la atención a la población (Figura 102).

⁹ Para ver pesos asignados ir a Anexo 2 pag. 192

- Vulnerabilidad por condición de resiliencia del Cerro Bola por inundación
 - Por condición de edad

Población infantil

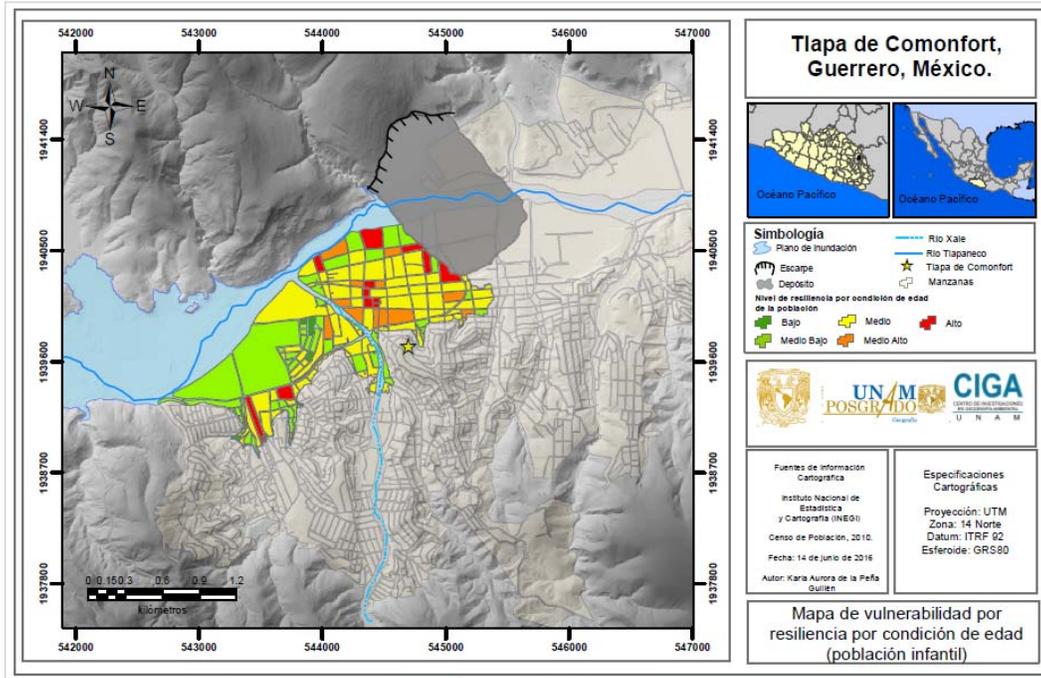


Figura 103. Mapa de vulnerabilidad relativa a resiliencia por condición de edad (población infantil). A mayor resiliencia menor vulnerabilidad.

Rangos estandarizados	Nivel de vulnerabilidad relativa
0-0.20	Alto
0.21-0.40	Medio Alto
0.41-0.60	Medio
0.61-0.80	Medio Bajo
0.81-1	Bajo

Tabla 33. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por resiliencia por condición de edad de la población infantil por manzana (0-14 años). Los rangos estandarizados se obtuvieron a partir del valor del porcentaje máximo de población infantil por manzana, en este caso fue de 57.89%.

El resultado obtenido para la vulnerabilidad de resiliencia usando el indicador de edad. Para la población infantil (0-14 años) se observa lo siguiente. En contraparte con los resultados de la sensibilidad se observa un número de total de 63 manzanas tienen niveles con niveles de vulnerabilidad Bajo y Medio Bajo, son aquellas donde existe la mayor población de niños, por lo tanto entre mayor sea la proporción de niños entre los habitantes de las manzanas, mayor será su resiliencia por la capacidad de recuperación que este grupo tiene ante eventos catastróficos, en comparación con los adultos mayores (0-14), cuya capacidad de recuperación es mucho más lenta y por lo tanto a mayor proporción de adultos mayores (>65) es menor la resiliencia para esas manzanas (niveles de vulnerabilidad Alto y Medio Alto (Figura 103).

Población de adultos mayores

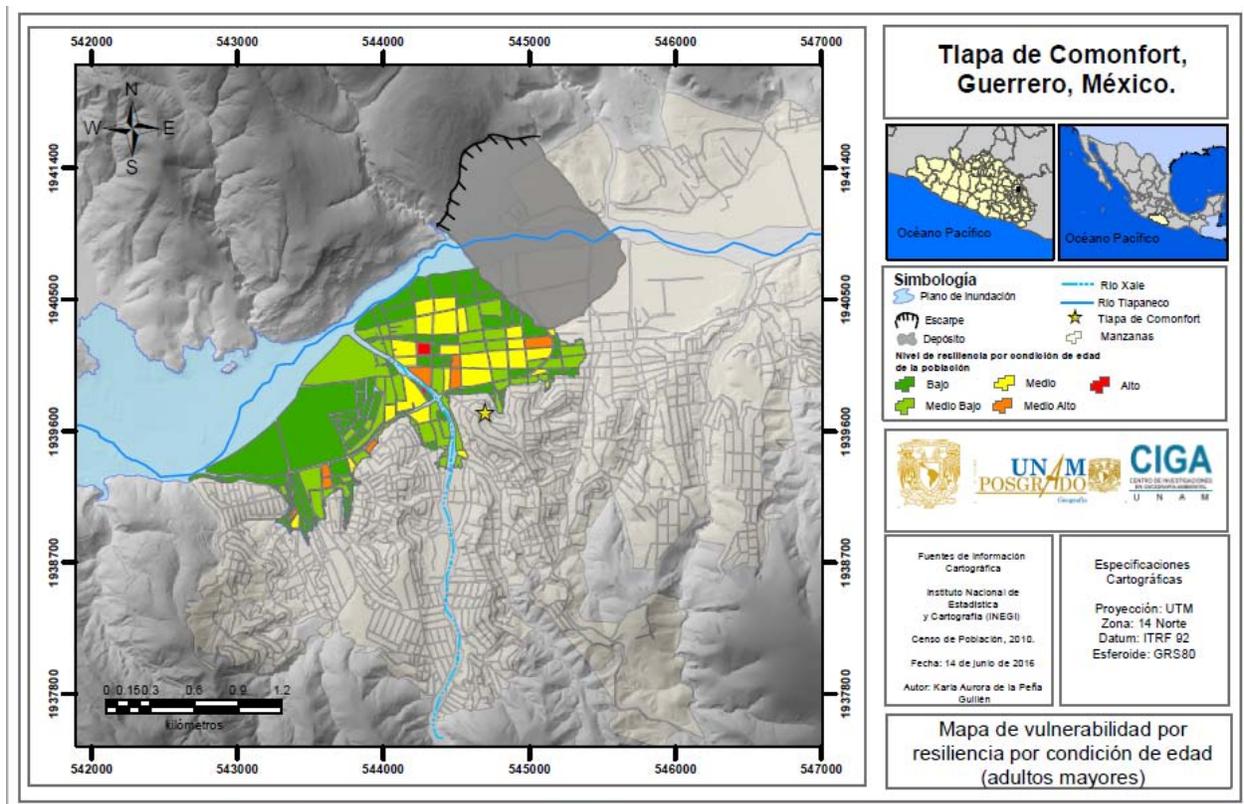


Figura 104. Mapa de vulnerabilidad relativa a resiliencia por condición de edad de la población de adultos mayores. A mayor resiliencia menor vulnerabilidad.

Rangos estandarizados	Nivel de vulnerabilidad relativa
0-0.20	Bajo
0.21-0.40	Medio Bajo
0.41-0.60	Medio
0.61-0.80	Medio Alto
0.81-1	Alto

Figura. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por resiliencia por condición de edad de la población de adultos mayores por manzana (mayores de 65 años). Los rangos estandarizados se obtuvieron a partir del valor del porcentaje máximo de la población de adultos mayores por manzana, que para este caso fue de 15.78%.

El resultado obtenido para la vulnerabilidad de resiliencia usando el indicador de edad para la población de adultos mayores (>65 años) se observa lo siguiente. Se observa un número de total de 11 manzanas tienen niveles con niveles Alto y Medio Alto de vulnerabilidad relativa, y son aquellas donde existe la mayor población de adultos mayores, por lo tanto entre mayor sea la proporción de adultos mayores entre los habitantes de las manzanas, éstas serán más vulnerables por la lenta capacidad de recuperación que este grupo tiene ante eventos catastróficos, en comparación con la población infantil (0-14 años), es decir, entre mayor sea el porcentaje de población infantil en una colonia, ésta será menos vulnerable, debido a que la capacidad de recuperación en este grupo de la población es mucho más rápida (Figura 104).

➤ Por condición de derechohabencia de la población

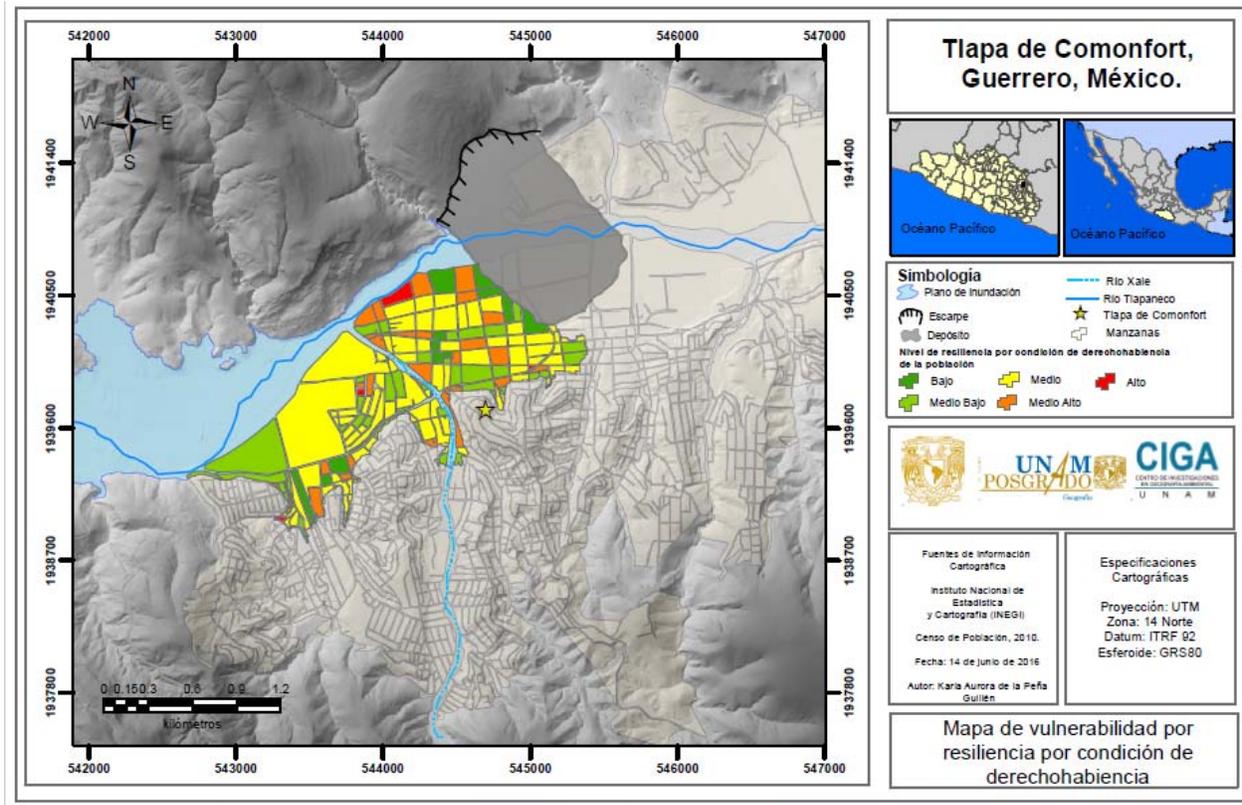


Figura 105. Mapa de vulnerabilidad relativa por resiliencia por condición de derechohabencia (Cerro Bola). A mayor resiliencia menor vulnerabilidad. A mayor resiliencia menor vulnerabilidad.

Rangos estandarizados	Nivel de vulnerabilidad relativa
0-0.20	Bajo
0.21-0.40	Medio Bajo
0.40-0.59	Medio
0.60-0.80	Medio Alto
0.81-1	Alto

Tabla 34. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa por resiliencia por condición de derechohabencia (Cerro Bola). Los rangos estandarizados se obtuvieron a partir del valor del porcentaje máximo de población sin derechohabencia por manzana, que para este caso fue de 100%.

Los resultados obtenidos para esta condición utilizando como indicador a la población que no cuenta con derechohabencia, muestran la heterogeneidad en la distribución de las manzanas en las que se encuentran distribuida la población que cuenta con algún tipo de seguro médico, se puede observar que la mayor parte de las manzanas se encuentran coloreadas de amarillo, lo que significa la mayor parte de la población se encuentra en un nivel moderado de vulnerabilidad; las manzanas que presentan las coloraciones verde representan niveles de vulnerabilidad Bajo y Medio Alto, lo que significa que en caso de ocurrencia de inundación la población que ahí se encuentra sería la de mayor capacidad de recuperación al contar con la afiliación a algún seguro médico, por otro lado, tenemos las manzanas coloreadas de naranja y rojo que representan un nivel de vulnerabilidad Alto y Medio Alto resiliencia, es decir, en esas manzanas específicamente, la mayoría de la población carece de algún tipo de seguro médico con el que puedan apoyarse, una vez ocurrido el evento. La población más resiliente tomando en cuenta esta condición se encuentra distribuida en 71 manzanas, es decir, que del total de manzanas sólo en el 36.97% de ellas se encuentra la población con mayor posibilidad de recuperarse (Figura 105).

➤ Por condición económica de la población

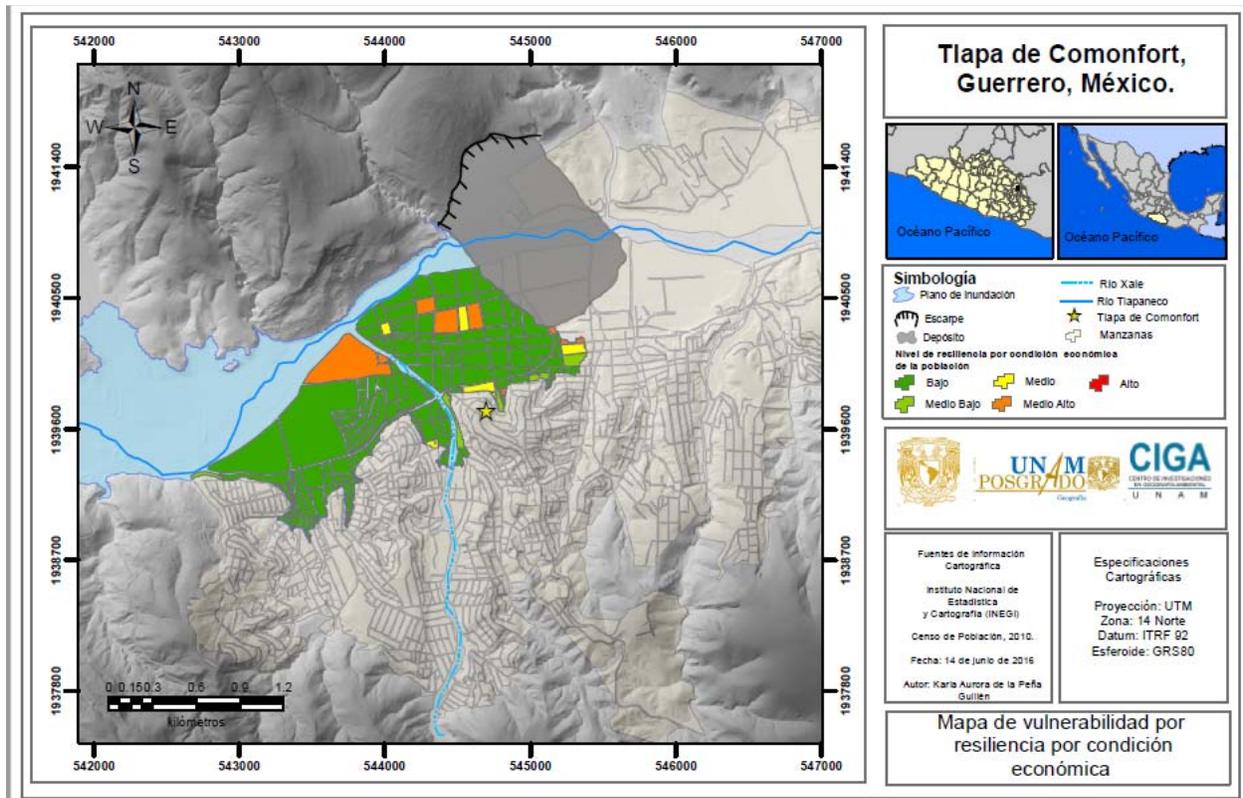


Figura 106. Mapa de vulnerabilidad relativa por resiliencia por condición económica (Cerro Bola). A mayor resiliencia menor vulnerabilidad. A mayor resiliencia menor vulnerabilidad.

Rangos estandarizados	Nivel de vulnerabilidad relativa
0-0.19	Bajo
0.20-0.39	Medio Bajo
0.40-0.59	Medio
0.60-0.79	Medio Alto
0.80-1	Alto

Tabla 35. Valores de nivel de vulnerabilidad relativa a resiliencia por condición económica (Cerro Bola). Los rangos estandarizados se obtuvieron a partir del valor del porcentaje máximo de habitantes desocupados por manzana, que para este caso fue de 6.17%.

Otro indicador utilizado para evaluar la resiliencia de la población es el de su condición económica, pues de eso depende gran parte de la recuperación que tenga la población. Sin embargo, la población no es homogénea en este aspecto y para evaluar esta condición se utilizó como indicador la población desocupada de cada manzana, bajo el supuesto de que al no contar con algún empleo o actividad que sea remunerada es menor la posibilidad de recuperarse ante el evento de inundación, a diferencia de aquellos que sí cuentan con algún empleo activo, condición que les pueda facilitar el recuperar su patrimonio. Se puede observar que en el caso de las manzanas afectadas por la inundación provocada por el depósito del Cerro de La Cruz, se puede observar que la mayoría de las manzanas (177 de las 192) se encuentran en niveles Bajo y Medio Bajo de vulnerabilidad, lo que en términos de resiliencia nos refleja que en este aspecto la población dentro de la mayoría de las manzanas es capaz de recuperarse ante cualquier evento de desastre, ya que la población tiene algún tipo de ocupación que le es retribuida (Figura 106).

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

6.1. DISCUSIÓN

Los MEMS son herramientas que representan un gran avance tecnológico en nuestros días, dando resultados prometedores en la solución de problemas actuales en diversos campos como la medicina, la industria y por supuesto en las cuestiones ambientales donde nada es estático y todo está en un constante cambio. Tal es el caso de los eventos naturales que son considerados un peligro y/o riesgo para la sociedad y todo lo que la involucra y rodea, por ejemplo, los riesgos por deslizamientos donde se ha dado la necesidad de implementar nuevas técnicas sofisticadas de monitoreo alrededor del mundo que permitan realizar un sistema de monitoreo en tiempo real para deslizamientos.

En el caso en particular del desempeño de los Sistemas Microelectromecánicos se evaluó su funcionamiento mediante pruebas realizadas en los trabajos de campo realizados, donde se hizo una valoración de esta herramienta como sistema de monitoreo en tiempo real y de la eficacia que tiene sobre deslizamientos complejos, para ello se pone en consideración que los MEMS como los que se utilizaron en este estudio no están originalmente diseñados para este tipo de tareas. En el caso de los acelerómetros son frecuentemente utilizados en sismología o en otro tipo de campos como en el automotriz o el de la medicina; por su lado los giroscopios son sensores utilizados en la fabricación de telefonía celular y en sistemas de navegación como la marítima y otros diversos campos donde tiene utilidad. Sin embargo, por las características que estos dispositivos poseen pueden ser directamente utilizados como herramientas de monitoreo de deslizamientos, ya que por sus capacidades para detectar y medir movimiento pueden ser igualmente eficientes para dicha tarea. Sin embargo, como en todos los métodos de monitoreo existen ventajas y desventajas que deben de ser consideradas a la hora de trabajar con estas herramientas realizando una comparativa entre otras técnicas de monitoreo convencionales para movimientos de tierra tenemos como ventajas que los Sistemas Microelectromecánicos son dispositivos que no requieren de grandes espacios para ser instalados, debido a su pequeño

tamaño, lo que los hace ser más compactos y fáciles de trasladar sin mucho problema, otras características ventajosas de estos sensores son:

- Componentes más sensibles.
- Tamaño y peso reducidos.
- Consumo de energía pequeño.
- Alta precisión
- Materiales con propiedades que les permiten ser más fuertes y ligeros.
- Desarrollo de componentes electrónicos más rápidos.
- Sistemas mecánicos y ópticos más rápidos.

Además de que representan una enorme ventaja en los costos de mercado ya que los precios pueden llegar a ser un tanto accesibles a comparación de otras técnicas que conllevan el uso de herramientas de mayor costo; son fáciles de configurar, ya que la mayor parte de veces se cuenta con algún tipo de literatura que detalla el modo de ponerlos en funcionamiento (dependiendo del proveedor). En contra parte se encuentran las desventajas del uso de estos sensores, una de ellas es que al ser tan pequeños cabe la posibilidad de que sean tomados por otras personas que pudieran tener acceso al sitio de monitoreo, son muy sensibles ante cualquier impacto brusco y pueden ser dañados hasta el punto de volverse inservibles, no deben encontrarse expuestos a descargas eléctricas repentinas (como las que pueden ocurrir naturalmente en las personas por estática).

En particular, el tipo de MEMS usados en este trabajo parece ser adecuado para la tarea de detectar y medir movimientos en deslizamientos del tipo complejo, en donde los movimientos suelen ser continuos y por momentos acelerados, bajo condiciones de lluvia intensa y simicidad, y en estos casos los MEMS, son capaces de detectar tanto el movimiento continuo como el acelerado con precisión suficiente.

Aparte de comprobar que es posible medir de manera remota los movimientos del terreno, también se observó, que para el caso de los deslizamientos complejos, debido a que su masa es muy grande y la velocidad y dirección de los movimientos puede ser diferente en diferentes porciones de la misma, el disponer de un solo dispositivo es insuficiente para ofrecer información completa sobre las posibilidades de falla catastrófica del evento. Se necesitaría una red de estos dispositivos, colocados estratégicamente en diferentes posiciones topográficas sobre la superficie del deslizamiento para poder caracterizar de manera más aproximada la deformación en este tipo de terrenos.

Desafortunadamente, por razones de tiempo en la ejecución de este trabajo, no fue posible el observar movimientos con el dispositivo montado en el Cerro de La Cruz, bajo condiciones de lluvia intensa o sismicidad. Los datos reportados por el dispositivo corresponden a un periodo corto de tiempo en el cual no hubo ocurrencia de eventos sísmicos importantes o lluvias intensas que propiciaran un movimiento importante. No obstante, en el tiempo que se mantuvo el sensor colocado sobre una de las paredes del Cerro de La Cruz, hubo actividad importante en cuanto a sismos que por problemas no pudieron ser registrados.

Los resultados obtenidos de los modelos de vulnerabilidad indican que un 13.61% de la ciudad de Tlapa se encuentra expuesta a los deslizamientos, por lo cual se debe considerar que en caso de que ocurra el evento sería pérdida total tanto de bienes como de vida humanas. El análisis realizado demuestra que las manzanas que presentan un mayor peligro son aquellas que se localizan más cerca de los cerros a una distancia de 500 m en el caso del Cerro de La Cruz y para el Bola 522 m de distancia entre el cerro y la primer colonia; 416 m de distancia del primer cultivo y asentamiento humano.

Por otra parte, haciendo alusión a lo obtenido por el modelado de los deslizamientos, no se descarta la posibilidad de hacer una estimación de heridos, con la ayuda de un buffer generado a partir del borde de cada uno de los depósitos. Sin embargo, al no ser

el modelo el más preciso, los resultados obtenidos serían poco acercados a la realidad y muy subjetivos en cuanto a subestimar o sobreestimar las dimensiones en pérdidas humanas o posibles heridos.

En tanto a los niveles de vulnerabilidad por inundación, existen diversas condiciones particulares en cuanto a exposición, sensibilidad y resiliencia en las manzanas localizadas en la zona de posible afectación, tanto por los deslizamientos como por la inundación, pues los resultados obtenidos de la evaluación de la vulnerabilidad por medio del modelo SAVE, reflejó en la cartografía resultante lo muy heterogénea que es la población. Para poder realizar la evaluación se utilizaron valores para estimar los niveles de vulnerabilidad para sensibilidad y resiliencia, fueron aplicados tomando en cuenta el nivel de vulnerabilidad relativo, es decir, el máximo porcentaje alcanzado. Cabe destacar que en el caso de la evaluación de vulnerabilidad por sensibilidad por condición de edad, los valores únicamente son vigentes en caso de que la inundación sea relativamente baja, es decir, que no exceda los 80 cm, ya que en determinado caso que ocurriera, la magnitud de la afectación tomaría otras dimensiones completamente distintas.

En cuanto a la exposición de la infraestructura (equipamiento urbano) tenemos centros de educación de los tres niveles (básica, media superior y superior) cerca de los cerros, por lo que se debe de tomar mucho en cuenta al momento de tomar medidas preventivas ante el evento, debido a que gran parte del día las instituciones educativas se encuentran ocupadas por un gran número de estudiantes, además de lo que implica que también un gran número de centros de abastecimiento (mercados y súper mercados) principalmente alimenticio se encuentren a expensas de los deslizamientos y de la inundación. Así como también en términos de atención médica es preocupante que un número importante de clínicas y uno de los principales hospitales (la madre y el niño indígenas) se encuentren en la zona de exposición sin posibilidad de evitar la pérdida total. También se realizó una evaluación de la vulnerabilidad por sensibilidad del equipamiento, donde se realiza un estimado de los inmuebles que tienen el equipamiento más sensible, es decir, aquellos materiales que una vez dañados son

más difíciles de reemplazar con respecto a otros. En este caso los hospitales resultaron ser los más sensibles, pues aparte de ser los más recurridos por las personas, los materiales con los que cuentan son más complejos de reemplazar por todo lo que implica en costos, traslados e incluso gestión de éstos.

Dentro de los aspectos económicos abordados en el análisis de la vulnerabilidad por deslizamiento e inundación se estima que dentro de las actividades económicas, específicamente hablando de los comercios, el giro que resultaría con las mayores pérdidas sería aquel dedicado al comercio al por menor, es decir, pequeños comercios cuya función es proveer a la población de determinados productos (alimentos, productos básicos, herramientas, etc. etc.).

La metodología empleada para la evaluación de la vulnerabilidad por exposición, sensibilidad y resiliencia, fue utilizada en el caso de los dos cerros (de La Cruz y Bola), pues los dos se encuentran en similares circunstancias físicas, y ambos se encuentran cerca de la ciudad de Tlapa.

Otro aspecto importante que remarcar es la diferencia en la metodología utilizada para evaluar los niveles de exposición por deslizamientos e inundaciones, y ésta radica en que, en el caso de los deslizamientos se contaba con información resultante a partir del modelo generado, esto resultó en una ventaja para definir niveles de vulnerabilidad en población y viviendas. En cambio para la inundación únicamente se usó sobre posición de capas, debido a que no se tenía certeza de los niveles que gradualmente alcanzaría el agua en las manzanas, por esta razón se decidió hacerlo de forma distinta para cada caso.

Se logró identificar manzanas con niveles Altos para las cuales deberá hacerse validación de los datos censales por parte de las autoridades competentes y sean aquellas a las que se dé prioridad al momento de realizar el plan de evacuación.

CAPITULO VII.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO 7.1. CONCLUSIONES

La utilidad de los MEMS para el monitoreo de deslizamientos podría venir en nuestros días a ser de gran relevancia en el área de riesgos geológicos debido a la importancia que han cobrado estos eventos en los últimos años a consecuencia de la mala planificación del territorio en muchos estados del país y no sólo de México si no en el mundo sobre todo con los países en modo de desarrollo y en los de tercer mundo.

Con este estudio precursor encaminado al monitoreo de deslizamientos de tierra por medio de sistemas microelectromecánicos, se comprobó que es posible monitorear eventos de deslizamientos y obtener información espacio temporal de ellos, a partir de una metodología diseñada para el uso específico de acelerómetros, magnetómetros y giroscopios. Se tomaron en cuenta factores detonantes como la sismicidad y las precipitaciones, mismas que son principales causantes de estos eventos, asociándolas a la ocurrencia de deformaciones y tomando en cuenta que Guerrero es un estado donde la ocurrencia de sismos fuertes es muy frecuente por su ubicación en la brecha sísmica la cual se localiza dentro de la zona de subducción entre la Placa de Cocos y la placa Norteamericana tectónica en la que se encuentra, así como de precipitaciones y la ocurrencia de tormentas tropicales y huracanes.

Se diseñó un método de monitoreo de deslizamientos en el cual están involucrados los Sistemas Microelectromecánicos como acelerómetro, giroscopio y magnetómetro, los cuales fueron responsables de realizar el monitoreo. A su vez también fue puesto a prueba un sistema de comunicación inalámbrica para la recepción y transmisión de datos por medio el cual permitió la visualización y recolección de los registros obtenidos por los sensores para los movimientos generados en el cerro.

Por otra parte se realizó la evaluación por exposición, resiliencia y sensibilidad de la población, infraestructura y actividades económicas de la ciudad de Tlapa utilizando el método SAVE, el cual tiene como base teórica la definición de vulnerabilidad de Turner, et al, (2003). Para ejecutar esta evaluación se utilizaron indicadores cuya información

fue clave para la obtención de los niveles de vulnerabilidad, aunque cabe resaltar que debido a la falta de algunos datos no pudieron ser incluidos en los componentes de sensibilidad y resiliencia.

Mediante la integración de la información recabada y la aplicación de las distintas metodologías fue posible identificar cada uno de los sujetos de vulnerabilidad

Los mapas de los modelos resultantes de los índices para la evaluación de la vulnerabilidad indican la heterogeneidad de la de población presente en las áreas propensas a ser afectadas por deslizamiento e inundables, así como de las manzanas con altos niveles de vulnerabilidad

El análisis de la vulnerabilidad antes eventos de peligro como los deslizamientos de tierra y las inundaciones da la posibilidad de generar planes de emergencia para la población, en el caso de este estudio se realizó la evaluación de la vulnerabilidad tomando en cuenta varios indicadores, por ejemplo, el de población.

El monitoreo de los deslizamientos puede ser considerado como parte de un plan de emergencia integral, cuya finalidad es la de salvaguardar la integridad física de la población vulnerable, es decir, se tendría la aplicación de nuevas herramientas para tener una idea aproximada de el espacio y tiempo del evento y por complemento a esto, el análisis de la vulnerabilidad, ya que se tendría conocimiento sobre las partes que serían afectadas tanto por los deslizamientos como por la inundación y así se podrían tomar medidas de evacuación. No obstante, es importante de resaltar es el contraste de la percepción de los habitantes de Tlapa ante un evento de peligro, por ejemplo, en el caso de la evaluación de la vulnerabilidad por inundaciones realizado por Pacheco, 2009, en el cual realizó entrevistas a algunos pobladores y dio como resultados un contraste muy marcado entre la percepción de la población y la administración del municipio (gobierno-protección civil). Donde por un lado la población se muestra en desacuerdo acerca de la forma en la que las autoridades manejan el problema y se quejan por no ser avisados por posibles fuertes avenidas de los Ríos, así como de la falta de recursos económicos para actuar en caso de peligro. Por otra parte, las

autoridades argumentan que no se dispone del equipo y material adecuado para las tareas que ellos realizan. Sin embargo, afirman que ellos comunican a la población de los peligros de habitar zonas no aptas.

En el caso del riesgo por deslizamientos no se tiene una respuesta de cómo la población enfrentaría este tipo de evento, no obstante, de lo que se puede tener certeza es que a una respuesta nada favorable sobre como actuarían en caso de inundaciones, podría haber otros resultados en el caso de los deslizamientos, es decir, que al haber ejercicios de concientización por personal capacitado, y sentirse verdaderamente vulnerables, no expondrían sus vidas ante un evento de grandes magnitudes, podrían reaccionar de manera positiva y atender a las recomendaciones que se les hagan. En cuanto al nivel económico según lo reportado por Pacheco (2009), muestra que la mayoría de los habitantes tienen categóricamente un nivel económico bajo y medio, lo que representa que existen dos sectores de la población que hay que tomar en cuenta a la hora de diseñar políticas y la toma de decisiones sobre la prevención y manejo de las inundaciones. En el caso de los deslizamientos esta condición no se vería reflejada, los dos sectores de la población serían uno sólo sin distinciones considerando que ante la magnitud del evento no hay posibilidades de recuperación.

Se utilizaron herramientas que permitieron la verificación de campo que posibilitaron la comprobación de los elementos involucrados en la evaluación y sobre todo el uso de los Sistemas de Información Geográfica que permitió el análisis y la identificación de los sujetos vulnerables a los deslizamientos así como del modelado de los deslizamientos.

También se generó un esquema de evaluación de vulnerabilidad a inundaciones para cada sujeto. Aunque para esta tarea no se profundizó demasiado y se buscó obtener un acercamiento al evento real con la información recabada a nivel manzana para la ciudad únicamente para la ciudad de Tlapa.

Los resultados obtenidos tanto para el escenario de deslizamientos como para la inundación causada por los mismos fueron logrados mediante la integración de la información recabada.

7.2 RECOMENDACIONES

Para llevar a cabo medidas de mitigación y prevención ante este tipo evento y cualquier otro es necesario tomar en cuenta que existen diversas posibilidades mediante las cuales los tomadores de decisiones pueden actuar para dar solución al problema, por ejemplo, las medidas estructurales y No estructurales, las cuales representan una oportunidad de disminuir el grado de vulnerabilidad ante un evento natural catastrófico.

A continuación se describen los dos tipos de medidas con sus respectivos métodos y técnicas.

7.2.1 Medidas no estructurales aplicadas a deslizamientos e inundaciones

También se podrían tomar en cuenta algunas no estructurales, las cuales, a pesar de no involucrar modificación directa al evento en cuestión aportarían la suficiente información acerca de cómo actuar ante la situación y como atender el problema a priori, por ejemplo:

- **Control del futuro desarrollo en la zona inundable:** zonificación de la llanura de inundación y restricciones a los usos del suelo, seguro frente a inundaciones.
- **Mejora de la respuesta frente a la inundación mediante mecanismos de previsión:** instalación de sistemas de previsión de avenidas y aviso con un plan de evacuación apropiado.

- **Problema:** Falta de comunicación entre autoridades y población ante eventos de peligros

Recomendación: Establecer un programa de concientización donde se incluyan talleres, mesas de trabajo y conferencias para orientar a la población de los riesgos que se corren al establecerse en sitios no aptos para habitar y sobre cómo actuar en caso de algún evento de peligro, donde se involucren tanto los habitantes como las autoridades de Tlapa.

- Problema: Falta de equipos y materiales en el departamento de protección civil municipal y estatal para atender los casos de emergencia de la población.
Recomendación: Gestionar ante el gobierno estatal los recursos para la adquisición de indumentaria, materiales y equipo especial para atender las emergencias ante cualquier evento.
- Problema: El crecimiento desorganizado de la ciudad y la falta de espacios aptos para habitar ha orillado a los pobladores a establecerse en lugares no aptos para vivir.
Recomendación: Regular el uso del suelo en la ciudad y alrededores para evitar que se sigan construyendo viviendas en zonas no aptas. También, es importante añadir la reubicación de los inmuebles que se encuentra en la zona de peligro, tanto para el caso de los deslizamientos como para las áreas inundables, y así poder evitar pérdidas humanas y materiales.
- Problema: Desorganización y inequidad entre los mismos pobladores por motivos culturales (diferentes etnias, creencias religiosas y económicas) que aumentan el nivel de vulnerabilidad a los diferentes eventos de peligro.
Recomendación: Tratar de establecer vínculos entre los habitantes de Tlapa, particularmente los que se encuentran en las zonas de peligro por medio de campañas de concientización

7.2.3 Prevención del deslizamiento

7.2.3.1 Medida estructural

Inicialmente se podría esperar a que un método estructural (ver anexo 4) pudiera ser el que previniera los deslizamientos de los Cerros de La Cruz y Bola, no obstante, debido a la magnitud de la masa de materiales y la ubicación a la que se encuentran es poco probable poder implementar este tipo de medidas sin poner en riesgo otros elementos del entorno. Se pueden llevar a cabo medidas que involucren la aplicación de herramientas destinadas a prevenir determinada circunstancia, es decir, con las cuales

pueda lograr anticipar el evento con el fin de evitar o impedir que se presente o por lo menos reducir sus efectos sobre la poblaci3n, los bienes y servicios, y el ambiente.

Cabe la posibilidad de implementar una medida estructural el abatimiento del talud como medida preventiva a los deslizamientos y as3 evacuar a la poblaci3n, no obstante, esta medida no evitar3a debido a la falta de espacios donde colocar el material colapsado haciendo as3 inminente el represamiento del R3o y la inundaci3n y por lo tanto las p3rdidas por este evento no se contendr3an.

7.2.3.2 Medida no estructural

- **Implementaci3n de Sistemas de alerta temprana**, ya que existe la posibilidad de poder predecir la ocurrencia de un evento de deslizamiento y por lo tanto teniendo esto en cuenta podr3an prevenirse la mayor cantidad de v3ctimas posible.

7.2.4 Prevenci3n de la inundaci3n

7.2.4.1 Medida estructural

Tomando en cuenta esta situaci3n otra posibilidad que cabr3a dentro del problema ser3a un encauzamiento del R3o Tlapaneco y as3 poder prevenir la inundaci3n aunque el deslizamiento sea inminente. Sin embargo, a3n prevalecer3a el problema de la falta de espacio ya que un encausamiento requerir3a de un espacio considerable para poder ser llevado a cabo, por lo tanto, se evitar3a la inundaci3n pero a costa de algunas p3rdidas materiales (infraestructura e inmuebles) y econ3micas (terrenos de cultivo).

En el caso del Cerro Bola, al ser de menor magnitud se podr3an establecer algunas medidas estructurales como: colocaci3n de pilotes en la parte baja del cerro para evitar el socavamiento, la instalaci3n de drenes sobre el cerro para que en temporadas de lluvias no haya un exceso de acumulaci3n de agua y pueda ser liberada.

7.3.2 Medida no estructural

También se podrían tomar en cuenta algunas no estructurales, las cuales, a pesar de no involucrar modificación directa al evento en cuestión aportarían la suficiente información acerca de cómo actuar ante la situación y como atender el problema a priori, por ejemplo:

- **Control del futuro desarrollo en la zona inundable:** zonificación de la llanura de inundación y restricciones a los usos del suelo, seguro frente a inundaciones.
- **Mejora de la respuesta frente a la inundación mediante mecanismos de previsión:** instalación de sistemas de previsión de avenidas y aviso con un plan de evacuación apropiado.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdoun, T., Danisch, Lee; Bennett, Victoria. 2005. Wireless Remote Monitoring of Geotechnical Systems. The Free Library. [En línea] consultado: 16 de agosto de 2014. Disponible en: [http://www.thefreelibrary.com/Wireless monitoreo remoto de geotécnica systems.-a0155784174](http://www.thefreelibrary.com/Wireless+monitoreo+remoto+de+geotécnica+systems.-a0155784174).
- Adger, W. N. 2006. Vulnerability. *Global Environmental change*, 16(3), 268-281.
- Alberti, J., Canales, E., Elizabeth, B. 2006. Técnicas de Mitigación para el Control de Deslizamientos en Taludes y su Aplicación a un Caso Específico. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador. 459 pp.
- Alcántara, I. 2000. Landslides: ¿Deslizamientos o Movimientos del Terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones Geográficas* (41) [En línea] Consultado el: 29 de agosto de 2014. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112000000100002&lng=es&tlng=es.
- Alcantara, I., Murillo, G. 2008. Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional de Investigación Geológica. [Versión electrónica] Consultado el: 04 de abril de 2014 66:47-64. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112008000200004
- Almaguer, Y. 2006. Evaluación de la Susceptibilidad a la Rotura por Desarrollo de Deslizamientos en el Yacimiento Punta Gorda. *Minería y Geología*. Departamento de Geología. 22(2), 1-4.
- Almaguer, Y., Guardado, R. 2006. Tipología de Movimientos de Masas Desarrolladas en el Territorio de Moa. *Minerología y Geología*. 22(1) Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223517653001>.
- Amrutha J., Senthilkumar, S. 2012. A system for Landslide Detection, Monitoring Using Sensor Network. *International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development*. 2(3) 71-78.
- Analog Devices, Inc. 2014. MEMS Inertial Sensors. [En línea] Consultado: 16 de noviembre de 2014. Disponible en: <http://www.analog.com/en/mems-sensors/mems-inertial-sensors/products/index.html>.

- Arnhardt C.,Asch K.,Assam R.,Bill R.,Fernandez-Steeger T. M., Homfeld S. D. , Kallash A.,Niemeyer F. , Ritter H. , Toloczyki M. , Walter K. 2007. Geotechnologic Science Report. Early Warning Systems in Earth Management. Kick-Off-Meeting Technical University Karlsruhe, p. 75 – 88
- Barrera, H. 2006. Tlapa, El Corazón de la Montaña. En: Rescalvo M.M (compilador). Veredas, Barrancas y Sucesos de Tlapa, Guerrero. H. Ayuntamiento de Tlapa de Comonfort y Universidad Autónoma de Guerrero. 15-35 pp.
- Beck, U. 2002. La sociedad del riesgo global. Siglo XXI de España Editores, S.A. Madrid. 1-10.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. 2014. At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability And Disasters. Vol.2. Routledge. London. UK. 321 pp.
- Blancas, L. (20 de julio de 2016). Ocurre un Temblor de 5.1 Richter en Tlapa. *EL SUR*. pp.1
- Cardona-, O.D. 2001. La Necesidad de repensar de manera Holística los Conceptos de Vulnerabilidad y Riesgo: Una Crítica y una Revisión necesaria para la Gestión. Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos (CEDERI). Bogotá, Colombia. 18 pp.
- Carrara, A., & Guzzetti, F. (Eds.). 1995. Geographical information systems in assessing natural hazards (Vol. 5). Springer Science & Business Media.
- CENAPRED. 2013. Guía de Contenido Mínimo para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. México pp.10-15
- Centeno Pulido Francisco A.1985, Ingeniería Biotécnica y Bioingeniería. Nuevas Tendencias de la Geotecnia para las Obras de Tierra, la Estabilización de Taludes y el Control de la Erosión. Memorias del XVII Seminario Venezolano de Geotecnia del Estado del Arte a la Práctica, Venezuela. Disponible en: http://www.centeno-rodriguez.com/files/Trabajo_de_FCP_SVDG_XVII_Seminario_Nov_2002.pdf
- Centro de Derechos Humanos de la Montaña "Tlachinollan". 2014. La situación de la Montaña de Guerrero a Cuatro Meses del Paso de la Tormenta Manuel y el Huracán Ingrid [En línea] Consultado: 20 de mayo de 2014 . Disponible en: <http://www.tlachinollan.org/index.php>.

- Chacón, J. 2003. Riesgos de Origen geológico y Geomorfológico: Deslizamientos de Tierras, Identificación, Análisis y Prevención de sus Consecuencias. Áreas. Revista Internacional de Ciencias Sociales. (23), 33-64.
- Chardon, A.C., González, L. 2002. Programa de Información e Indicadores de Gestión de Riesgos.
- Chávez-Aliaga, M.J. 2003. Estudio geológico-geotécnico para la rehabilitación de la carretera Corral Quemado-Río Nieva, tramo 1: Puerto Naranjitos-Pedro Ruiz. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. 18pp
- CONAGUA. 2012. Base de Datos de Ciclones Tropicales que afectaron a México durante el período de 1970 a 2011. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional.
- Consortio Mexicano de Microsistemas. 2012. CMM Microsistemas [En línea]. Consultado: 08/09/2014. Disponible en: <http://www.cmm.org.mx/index.php/microsistemas/tecnologia-mems>.
- Copons, R., Tallada, A. 2009. Movimientos de Ladera. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. 17(3), 284-294.
- Corona-Morales, N. 2009. Vulnerabilidad de la Ciudad de Morelia a Inundaciones. Tesis de Geografía. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México. 146 pp.
- Corporación OSSO. 2014. DesInventar. [En línea]. Consultado: 15 de agosto de 2014. Disponible en: <http://www.desinventar.org/es/desinventar.html>
- Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 43(1), 27-29.
- Cruden, D., Varnes, D. 1996a. Landslides Types and Processes, en Turner, A. K., Schuster R. L. (Eds.), Landslides. Investigation and Mitigation. Special Report (247), 36-75.
- Cruden, D., Varnes, D. 1996b. Landslides Types and Processes, en Turner, A. K., Schuster R. L. (Eds.), Landslides. Investigation and Mitigation. Special Report (247), 36-75.
- Cruden, D., Varnes, D. 1996c. Landslides Types and Processes, en Turner, A. K., Schuster R. L. (Eds.), Landslides. Investigation and Mitigation. Special Report (247), 36-75.

- Dai, F. C., & Lee, C. F. 2001. Frequency–Volume Relation and Prediction of Rainfall-Induced Landslides. *Engineering Geology*, 59(3), 253-266.
- Danisch, L., Chrzanowski, A., Bond, J., Bazanowski, M. Fusion of Geodetic and MEMS sensor for integrated Monitoring and Analysis of Deformations. 2008. 13th FIG International Symposium on Deformation Measurements and Analysis. Lisboa.
- De Capua, C., Lugarà, M., Morello, R. 2014. A smart-sensor based on MEMS technology for monitoring landslides In *Sensors*. Springer New York. 265-269 pp.
- Dominguez, M., A. Ramirez. 2005. Informe Sobre Los Problemas de Inestabilidad de Laderas en la Colonia Buena Vista, Municipio de Tlapa de Comonfort, Guerrero. CENAPRED. 17 pp.
- Dow, K. 1992. Exploring differences in our common future (s): the meaning of vulnerability to global environmental change. *Geoforum*, 23(3), 417-436.
- Echeverri, O., Valencia, Y. 2004. Análisis de los Deslizamientos en la Cuenca de la quebrada La Iguaná de la ciudad de Medellín a partir de la Integración lluvia-pendiente-formación Geológica. *Dyna*, 71(142), 33-45 Erben H.K. 1956.- Geología a lo largo de la carretera Mexico-Tlaxiaco, Oax. *Memorias del Congreso Geológico*. 20 excursion. A-12, 37 p.
- Fernandez-Steeger, T. M., *et al.* 2009. SLEWS—A Prototype System for Flexible Real Time Monitoring of Landslides Using an open spatial Data Infrastructure and wireless sensor networks. *Geotechnology Science Report* (13), 3-15.
- Ferrer, M. 1987. Deslizamientos, Desprendimientos, Flujos y Avalanchas. Serie Geología Ambiental. Riesgos Geológicos. I.G.M.E. Madrid. 175-192.
- Flores C, E. 2013. La Pesadilla No Termina en la Montaña de Guerrero, a una Semana de Manuel [versión electrónica]. *Proceso* 1925, 2 pp. Consultado el 17 de junio de 2014, de <http://www.proceso.com.mx>
- García, E. 1964. Modificaciones al Sistema de la Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. México. 90 pp.
- García, J.C. 2005. Análisis de la Vulnerabilidad por Movimientos de Ladera: Desarrollo de la Metodologías para Evaluación y Cartografía de la Vulnerabilidad. España. 217 pp.
- Garich, E. 2007. Wireless, Automated Monitoring For Potential Landslide Hazards. Thesis of Master. Texas A&M University. 47 pp.

- Girty, G.H. 2009. From Perilus Earth: Understanding Processes Natural Disaster [En línea]. Consultado: 24 de j unio de 2014. Disponible en: <http://www.geology.sdsu.edu/visualgeology/naturaldisasters/Chapters/Chapter8Landslides.pdf>
- Glade, T. *et al.*, 2005. Landslide Hazard and risk. John Wiley & Sons, Ltd. England. Pp. 43.
- Guidicini, G. and Iwasa, O., Tentative correlation rainfall and landslides in a humid tropical environment. Bulletin International Association Engineering Geology, Sao Paulo, N° 16: pp 13-20, 1977.
- Guzzetti, F. 2006. Landslide hazard and risk assessment. Tesis Doctoral. Universitäts- und Landesbibliothek Bonn
- Guzzetti, F., *et al.* 1999. Landslide Hazard Evaluation: a Review of Current Techniques and their application in a Multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31(1) [En línea] Consultado el: 27 de agosto de 2014. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X99000781>.
- Helmore, K. 1996. Ciudades al borde probar nuevas tácticas. *Elecciones*, 5(1), [En Línea]. Consultado el: 27 de agosto de 2014. Disponible en: <http://www.ponline.org/node/298731>.
- Hinojosa, A., Rodríguez, V., Munguía, L., Meillón, O. 2011. El deslizamiento de ladera de noviembre 2007 y generación de una presa natural en el Río Grijalva, Chiapas, México. *Boletín de la sociedad geológica mexicana*. 63(1), 15-38.
- Hinojosa, A., Rodríguez, V., Munguía, L., Meillón, O. 2011. El deslizamiento de ladera de noviembre 2007 y generación de una presa natural en el Río Grijalva, Chiapas, México. *Boletín de la sociedad geológica mexicana*. 63(1), 15-38.
- Hinojosa-Corona, A., Rodríguez-Moreno, V., Munguía-Orozco, L., Meillón-Menchaca, O. 2011. Los Deslizamientos de Ladera de Noviembre 2007 y Generación de una Presa Natural en el Río Grijalva, Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(1), 15-30.
- Ho, C. M., & Tai, Y. C. (1998). Micro-electro-mechanical-systems (MEMS) and fluid flows. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 30(1), 579-612.
- Hunt, R. 2007. *Geologic Hazards A Field Guide for Geotechnical Engineers*. CRC Press. United States. 323 pp.

- INAFED.2009a. Enciclopedia de los Municipios de México GUERRERO. [En línea] Consultado: 23 de agosto de 2014. Disponible en: <http://www.mexico-tenoch.com/gobernadores/guerrero/TLAPAMPIO.htm>
- INAFED.2009b. Enciclopedia de los Municipios de México GUERRERO. [En línea] Consultado: 23 de agosto de 2014. Disponible en: <http://www.mexico-tenoch.com/gobernadores/guerrero/TLAPAMPIO.htm>
- INAFED.2009c. Enciclopedia de los Municipios de México GUERRERO. [En línea] Consultado: 23 de agosto de 2014. Disponible en: <http://www.mexico-tenoch.com/gobernadores/guerrero/TLAPAMPIO.htm>
- Inniventions. 2014. Roto View. [En línea] Consultado: 16 de noviembre de 2014. Disponible en: www.rotoview.com/sensor_kinetics.htm
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos. (103). FAO, Roma.
- Jiménez, J.D. Análisis de la Susceptibilidad a los Movimientos de Ladera Mediante ArcGIS en la Cuenca Vertiente al Embalse de Rules, Granada. En: Congreso ESRI 08. Madrid; E.T.S. de Ing. de Caminos, Canales y Puertos Universidad de Granada. 15-16 de octubre de 2008.
- Jungwoo Lee, M.S. 2009. Real-time Monitoring Of Landslide Using Wireless Sensor Network. Thesis of PhD. Ohio State University. 186 pp.
- Keefer, D. K. 1984. Landslides Caused by Earthquakes. Geological Society of America Bulletin, 95(4), 406-421.
- Keefer, D. K., Wartman, J., Ochoa, C. N., Rodriguez-Marek, A., & Wieczorek, G. F. (2006). Landslides caused by the M 7.6 Tecomán, Mexico earthquake of January 21, 2003. *Engineering Geology*, 86(2), 183-197.
- Kotta, H. 2011. Wireless Sensor Network for Landslide Monitoring in Nusa Tenggara Timur. *Telkomnika*. 9(1), 9-18.
- Larsen, M. C., Simon, A. 1993. A Rainfall Intensity-Duration Threshold for Landslides in a Humid-tropical Environment, Puerto Rico. *Geografiska Annaler. Series A. Physical Geography*, 13-23.
- Lebourg, T., Hernandez, M., Zerathe, S., El Bedoui, S., Jomard, H., & Fresia, B. 2010. Landslides triggered factors analysed by time lapse electrical survey and multidimensional statistical approach. *Engineering Geology*, 114(3), 238-250.

- Lugo-Hubp, J. 2011. Diccionario Geomorfológico. Instituto de Geografía. Primera edición. México. 480 pp.
- Mahalik, N.P. 2007. MEMS. Tata McGraw-Hill. India. 490 pp.
- Mansfield University. 2014. Geology Education. [En línea] Consultado: 15 de Agosto de 2014. Disponible en: <http://www.geologyeducation.com/blackboard/lan/triggers.htm>
- Márquez, D. A., Sandia, O. 2006a. Estado del Arte de los Sistemas Microelectromecánicos. 27(3), 109-117 pp.
- Márquez, D. A., Sandia, O. 2006b. Estado del Arte de los Sistemas Microelectromecánicos. 27(3), 109-117 pp.
- Mateos, R.M., Azañón, J.M. 2005. Los Movimientos de La dera en la Sierra de Tramontana de la Isla de Mallorca: Tipos, Características y Factores Desencadenantes. Revista de la Sociedad Geológica de España, 18 (1-2), 87-97.
- Mora, R. (n.d) Fundamentos sobre deslizamientos [En línea] Consultado: 14 de febrero de 2014. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/conf15.pdf>
- Morales, L.M. 2007c. 1er Informe Técnico Parcial del Proyecto: Identificación de Áreas de Riesgo Ambiental en tres Ecoregiones Prioritarias. Instituto de Geografía. UNAM-Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. Junio 2007. 23 pp.
- Navarro S.J. 2008. Estabilidad de Taludes; México. Disponible en: <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/estabilidad-de-taludes.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. 2009. UNISDR Terminología Sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Estrategia Internacional para la reducción de desastres de las Naciones Unidas. Suiza. 38 pp.
- Pacheco, C. 2009a. Identificación de Riesgos por Inundación en Tlapa, Guerrero. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México. 96 pp.
- Pacheco, C. 2009b. Identificación de Riesgos por Inundación en Tlapa, Guerrero. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México. 96 pp.
- Patra AK, Bauer AC, Nichita CC, Pitman EB, Sheridan MF, Bursik M, Rupp B, Webber A, Stinton AJ, Namikawa LM, Renschler CS (2005) Parallel adaptive numerical

- simulation of dry avalanches over natural terrain. *J Volcanol Geotherm Res* 139(1–2) 89–102.
- Perilous Earth: Understanding Processes Behind Natural Disasters Version 1.0. Department Of Geological Sciences. San Diego State University, Disponible en: www.geology.sdsu.edu/visualgeology/naturaldisaster/#.
- Piers, B. 1996. Vulnerabilidad: El Entorno Social, Político y Económico de los Desastres. Soluciones Prácticas. Colombia. 328 pp
- Procter, J. N., Cronin, S. J., Platz, T., Patra, A., Dalbey, K., Sheridan, M., & Neall, V. 2010. Mapping block-and-ash flow hazards based on Titan 2D simulations: a case study from Mt. Taranaki, NZ. *Natural hazards*, 53(3), 483-501.
- Ramesh, M. 2009a. Real-time Sensor Network for Landslide Detection. Department of Computer Science, Amrita School of Engineering. Kerala, India. Pp 405-408.
- Rebeiz, G., Guan-Lang, T. 2003. RF MEMS Theory, Design and Technology. Wiley & Sons, Inc. United States. 120 pp.
- Richards, J. C., Rodgers, T. S. 2001. Approaches and methods in language teaching. Cambridge University Press. 10 pp.
- Rzendowsky, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición Digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 504 pp.
- SAHOP. Glosario de Términos sobre Asentamientos Humanos. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. SAHOP, México.
- Sánchez, J. (2014, 5 de febrero). Damnificados Bloquean Tlapa. *El Universal* [En línea]. Consultado el: 20 de abril de 2014. Disponible en: <http://www.eluniversal.com.mx/nacion-mexico/2014/impreso/damnificados-bloquean-tlapa-212834.html>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2013, Instructivo Técnico para la Ejecución de Trabajos en el PET SCT, México, D.F. Dirección General de carreteras.
- SEMARNAT. 2012. Vegetación de México [En línea]. Consultado el 23 de agosto de 2014. Disponible en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/02_vegetacion/recuadros/c_rec1_02.htm

- Serna-Quintana, C.2011. La Naturaleza Social de los Desastres Asociados a Inundaciones y Deslizamientos en medellín (1930-1990). *Historia Crítica*. (43) 198-223.
- Sobiech, C.2013. *Agent-Based Simulation of Vulnerability Dynamics: A case Study of the German North Sea Coast*. Springer New York. Germany. 13-14 pp.
- Strahler, A. N. 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 38(6), 913-920.
- Suárez, J. 1998. *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Universidad Industrial de Santander. Colombia. 533 pp.
- Takayama, S., Motoshi, H., Koichiro, M., Komyo K. *Landslide Disaster Monitoring By Wireless Sensing Network*. In: XVIII Imeko World Congress. Ritsumeikan University; 2006. Pp 17-22
- Tric, *et al.* 2010. Study of Large-Scale Deformation Induced by Gravity on the La Clapiere Landslide (Saint-Etienne de Ti née) Using Numerical and Geophysical Approaches. Elsevier. *Journal of Applied Geophysics*. 70 (3) 206-215.
- Turner, A. K., Schuster, R. L. 1996. Special report 247: landslides: investigation and mitigation. Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington, D. 439-451 pp.
- Turner, B. L.2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the national academy of sciences*, 100(14) 8074-8079.
- Ucar, R. 2002. *Manual de Anclajes en Obras de Tierras*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. 201 pp.
- Uchinura, T, Towhata, I., Fukuda, J., Bautista, C. 2010. Simple Monitoring Method For Precaution Of Landslides Watching Tilting And Water Contents On Slopes Surface. *Landslides*. 7(3) 351-357.
- Ulloa, F. 2011. *Manual de gestión del Riesgo de Desastre para Comunicadores Sociales. Una Guía para el Comunicador Social Comprometido en Informar y Formar para Salvar Vidas*. UNESCO. 69 pp.
- UNDRO. 1979. *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*. Reporte presentado en el Report of Expert Group Meeting. Geneva. July 9-12 1979.
- UNESCO, 2011. *Manual de Gestión de Riesgos de Desastre para Comunicadores Sociales*. Perú. 73 pp.

University at Buffalo .2002. Geophysical Mass Flow Group.
Recuperado de <http://www.gmfg.buffalo.edu/pubs.php>.

Varnes, D. J. 1978. Slope movement types and processes. Transportation Research Board Special Report, 176 pp.

Vázquez-Roura, A. 2013. Investigación de Deslizamientos a través de Métodos Geofísicos y Técnicas de Monitoreo. Tesis de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. Universidad de Cuenca. 131pp.

Watson Industries, Inc. 2012. Flux gate Magnetometer Products.[En línea]. Consultado: 18 de Noviembre de 2014. Disponible en: <http://www.watson-gyro.com/>

Wilches-Chaux, G. 1988. La vulnerabilidad Global. Los Desastres no son Naturales. LA RED. Tercer Mundo Editores.

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1. Fotografías

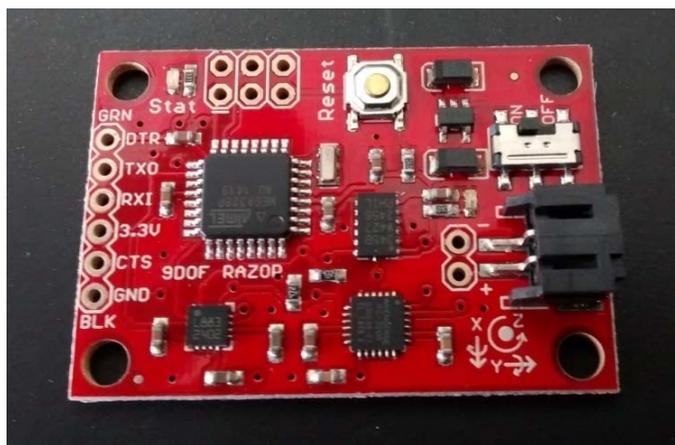


Figura 1. Placa IMU Razor 9DoF, contiene el acelerómetro, giroscopio y magnetómetro

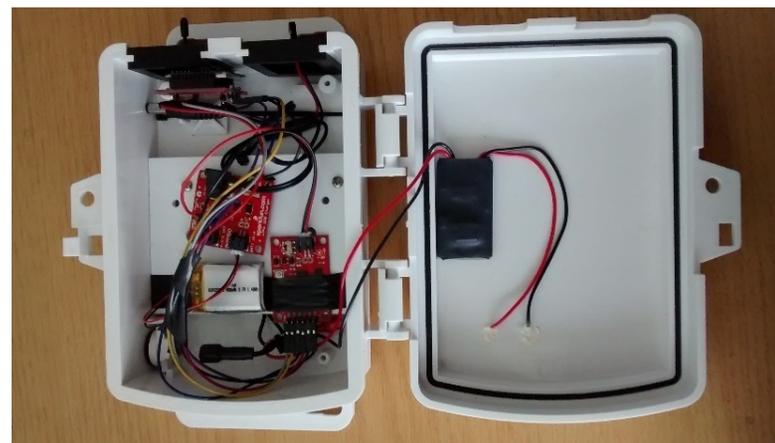


Figura 2. Dispositivos y cableado preparado



Figura 3. Montículo de composta como sujeto de prueba para los MEMS



Figura 4. Placa colocada sobre el escarpe del montículo



Figura 5. Inducción de vibraciones

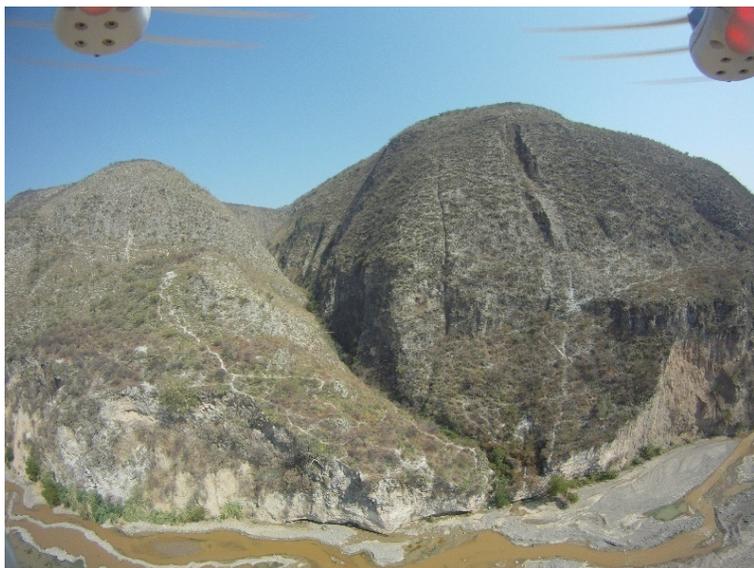


Figura 6. Vista frontal de los Cerros de La Cruz y Bola, fotografía aérea captada con ayuda de un dron. En las imágenes se pueden apreciar la fractura del cerro de la Bola y algunos escarpes del Cerro de La Cruz, también se visualiza el afluente del Río Tlapaneco en época de verano, se observa parte del socavamiento sobre la base del Cerro de La Cruz, mismo que es provocado por el Río Tlapaneco.

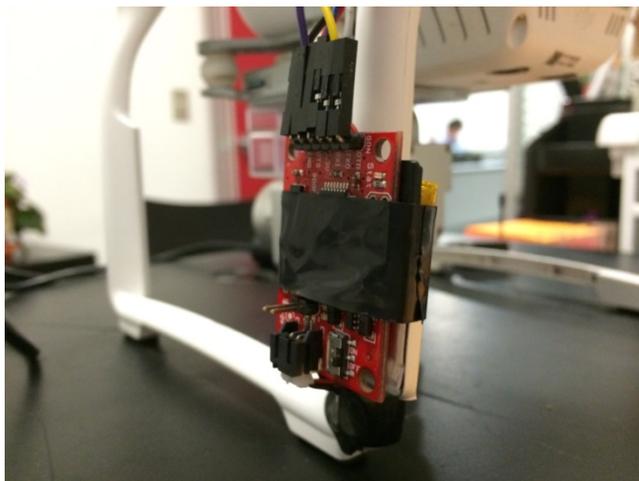


Figura 7. Placa montada sobre la extremidad inferior del dron.



Figura 8. Impresión de pantalla mostrando el vuelo del dron en tiempo real.

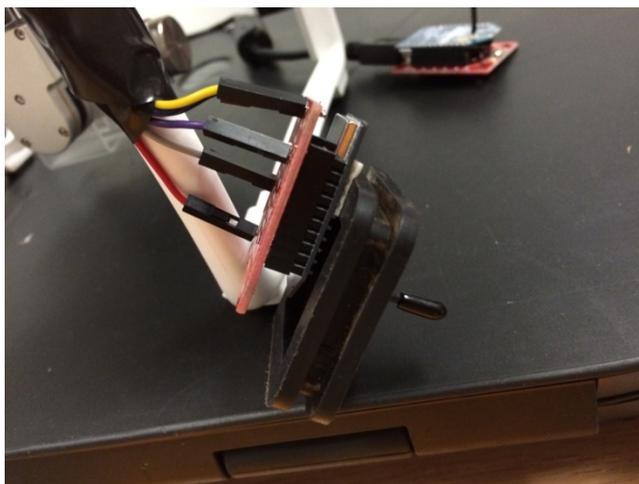


Figura 9. Radio transmisor montado sobre la extremidad inferior derecha del dron.



Recarga de batería



Colocación de la placa (dentro de la caja)



Ajuste de la posición de la placa



Inclinaciones simuladas

Figura 10. Calibración de los sensores en conjunto

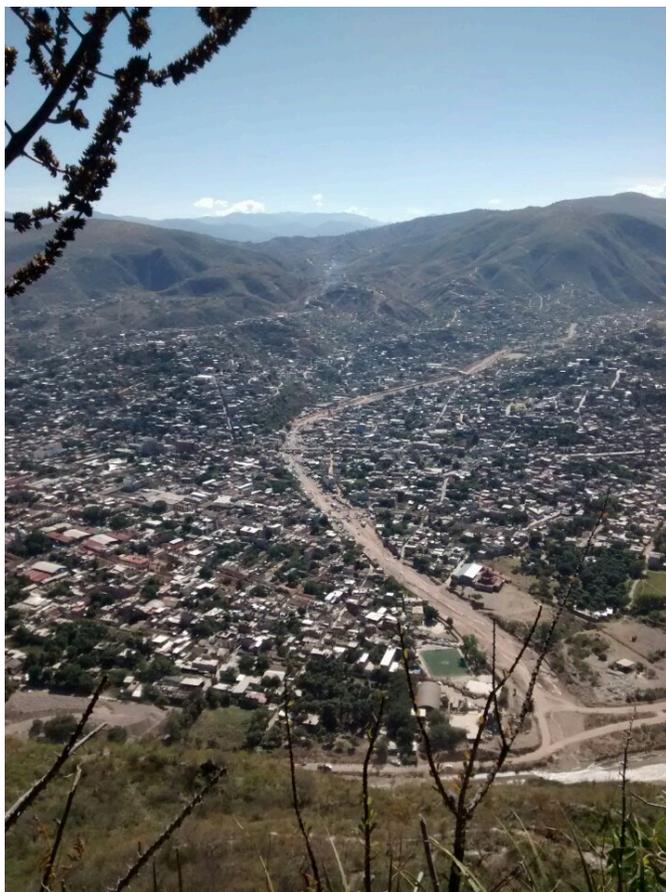


Figura 11. Fotografía de la ciudad de Tlapa de Comonfort, tomada desde la cima del Cerro de La Cruz. En ella se alcanza a apreciar la planicie de fluvial del Río Xale que desemboca en la planicie de inundación del Río Tlapaneco.



Figura 12. Fotografía tomada desde la cima del Cerro de La Cruz orientada al este de la ciudad de Tlapa. Se puede apreciar la planicie de inundación del Tlapaneco y los campos de cultivo que ahí se encuentran



Figura 13. Grieta de aproximadamente 1 metro de longitud encontradas sobre la cima del Cerro de La Cruz.



Figura 14. Fotografía del cerro del perfil del Cerro de La Cruz



Figura 15. Microrelieve de Lapiaz



Figura 16. Finalizando la Instalación de los sensores en uno de los escalones de la cara frontal del Cerro de La Cruz



Figura 17. Puente nuevo que conecta la colonia Sinaí con el resto de la ciudad de Tlapa

Anexo 2. Tablas

La siguiente tabla es acerca de los diferentes métodos utilizados en el monitoreo de deslizamientos alrededor del mundo, en este se presentan el nombre del método, la medida básica en la que se basan, la aplicación que tienen, ventajas y desventajas en ese mismo orden. Es elaboración original de Vázquez- Roura, R. 2013 y modificada para su uso en esta tesis (Tabla 1).

Método	Medida Básica	Aplicación	Ventajas	Desventajas
Sísmica de refracción	Tiempo de viaje de las ondas principales, a través de la superficie	Determinar velocidad de las ondas principales, muestra contrastes geológicos.	Rápido, económico, preciso,	No capta materiales más suaves bajo algo duro
Sísmica de reflexión	Tiempo de viaje de las ondas principales, a través de las capas subsuperficiales	Detección de fallas, discontinuidades, mapeo en profundidad (horizontes que reflejan)	Rápido, económico, preciso,	No tiene mucha resolución
Dispersión de Ondas	Tiempo de viaje y periodo de las ondas Reyleigh	Interferencia de la onda de corte de la superficie	Rápido, económico, preciso,	Se requieren largas líneas y mucha energía
Vibración	Tiempo de viaje y periodo de las ondas Reyleigh	Interferencia de la onda de corte en la superficie	Vibración controlada, permite alcanzar grandes profundidades	Se requieren largas líneas y mucha energía
Perfiles de reflexión	Tiempo de viaje de las ondas principales, a través de las capas subsuperficiales y amplitud de las ondas reflectadas	Detección de fallas, discontinuidades, mapeo en profundidad (horizontes que reflejan)	Rápido, económico, correlación directa con cambios litológicos y geológicos.	La resolución y la capacidad de penetración es baja, no debe existir agua

Resistividad Eléctrica	Resistencia eléctrica	Nivel freático, complemento a la sísmica de refracción, prospección de arena y grava.	Económicos, pueden detectar materiales suaves.	Las profundidades no son muy exactas, pueden existir interpretaciones incorrectas, debe utilizarse en conjunto con otros métodos.
Acústica	Amplitud de las ondas	Buscar cavidades	Rápido y confiable, mucho equipo disponible.	Sigue en etapa experimental, limitaciones todavía no establecidas
Georadar	Tiempo de viaje y amplitud de microondas	Rápido mapeo de estratos, nivel freático, anomalías.	Muy bueno para investigaciones superficiales	Poca profundidad de investigación, el agua atenúa la señal.
Gravimetría	Variaciones del campo gravitatorio	Detecta fallas y cavidades.	preciso	Equipos muy costosos, con personal especializado, interpretación compleja.
Magnetismo	Variaciones del campo magnético	Presencia de materiales magnéticos en la superficie.	Detecta hasta presencias mínimas de materiales magnéticos	Solo es adecuado para la localización de materiales magnéticos.
MEMS	Redes de sensores	Evalúa los datos 3D para la dirección y el valor de la aceleración	Pequeños, rápida instalación, tienen capacidad de auto -	Vulnerables ante el robo por ser de fácil transporte y muy sensibles ante

		máxima del desplazamiento.	organización y autocuración	elementos físicos e impactos
GPS	Ondas electromagnéticas	Se utiliza con más frecuencia para monitorear deslizamientos superficiales	relaciona observaciones a estaciones móviles desconocidas, con observaciones simultáneas en la estación base conocida.	Puede sufrir deterioro por encontrarse expuesto a factores atmosféricos

Tabla 1. Métodos de monitoreo de deslizamientos

<u>Escala de Mercalli</u>	Aceleración sísmica (g)	Velocidad sísmica (cm/s)	Percepción del sismo	Potencial de daño
I	< 0.0017	< 0.1	No apreciable	Ninguno
II-III*	0.0017 - 0.014	0.1 - 1.1	Muy leve	Ninguno
IV*	0.014 - 0.039	1.1 - 3.4	Leve	Ninguno
V*	0.039 - 0.092	3.4 - 8.1	Moderado	Muy leve
VI	0.092 - 0.18	8.1 - 16	Fuerte	Leve
VII	0.18 - 0.34	16 - 31	Muy fuerte	Moderado
VIII	0.34 - 0.65	31 - 60	Severo	Moderado a fuerte
IX	0.65 - 1.24	60 - 116	Violento	Fuerte
X+	> 1.24	> 116	Extremo	Muy fuerte

Tabla 2: Correlación de la velocidad sísmica con la escala Mercalli (United States Geological Survey)

*Los valores con coloraciones son las velocidades que se obtuvieron para la zona de estudio, la escala Mercalli está dada con base a la velocidad.

Equipamiento	Peso	Equipamiento	Peso
Mercado	0.069	Balnearios	0.029
Súper mercado	0.130	Plaza de toros	0.012
Viveros	0.030	Iglesias	0.050
Purificadoras	0.088	Hospital	0.199
Materiales de construcción	0.027	Clínica	0.101
Distribuidora de bebidas	0.022	Escuelas	0.103
Granja acuícola	0.030	Bodegas	0.024
Central de autobuses	0.029	Cementerios	0.017
Cancha deportiva	0.011	Tanques de agua	0.018
Unidad deportiva	0.011		

Tabla 3. Pesos asignados al equipamiento urbano

Anexo 3. Mapas

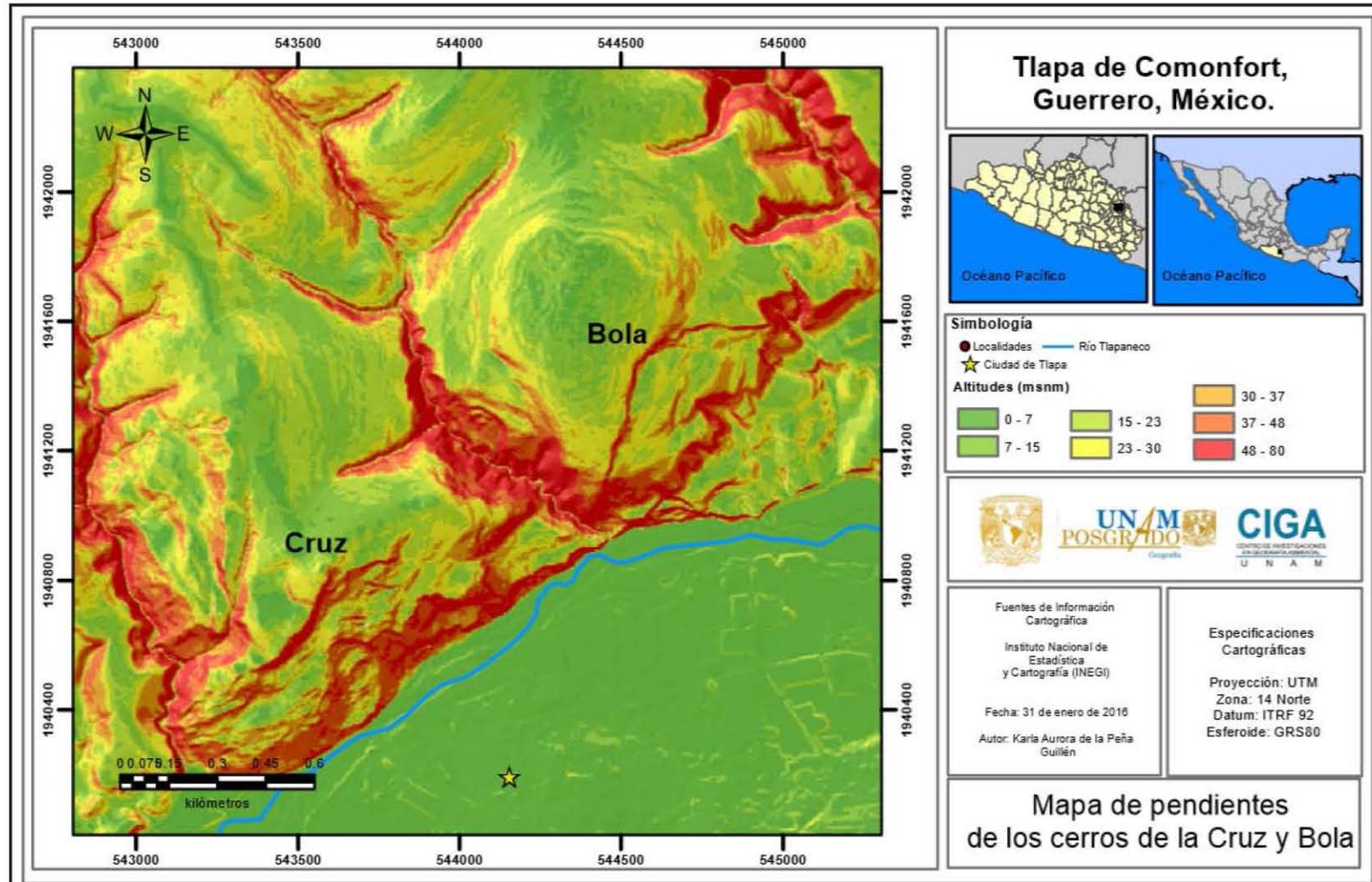


Figura 18. Mapa de pendientes de los cerros

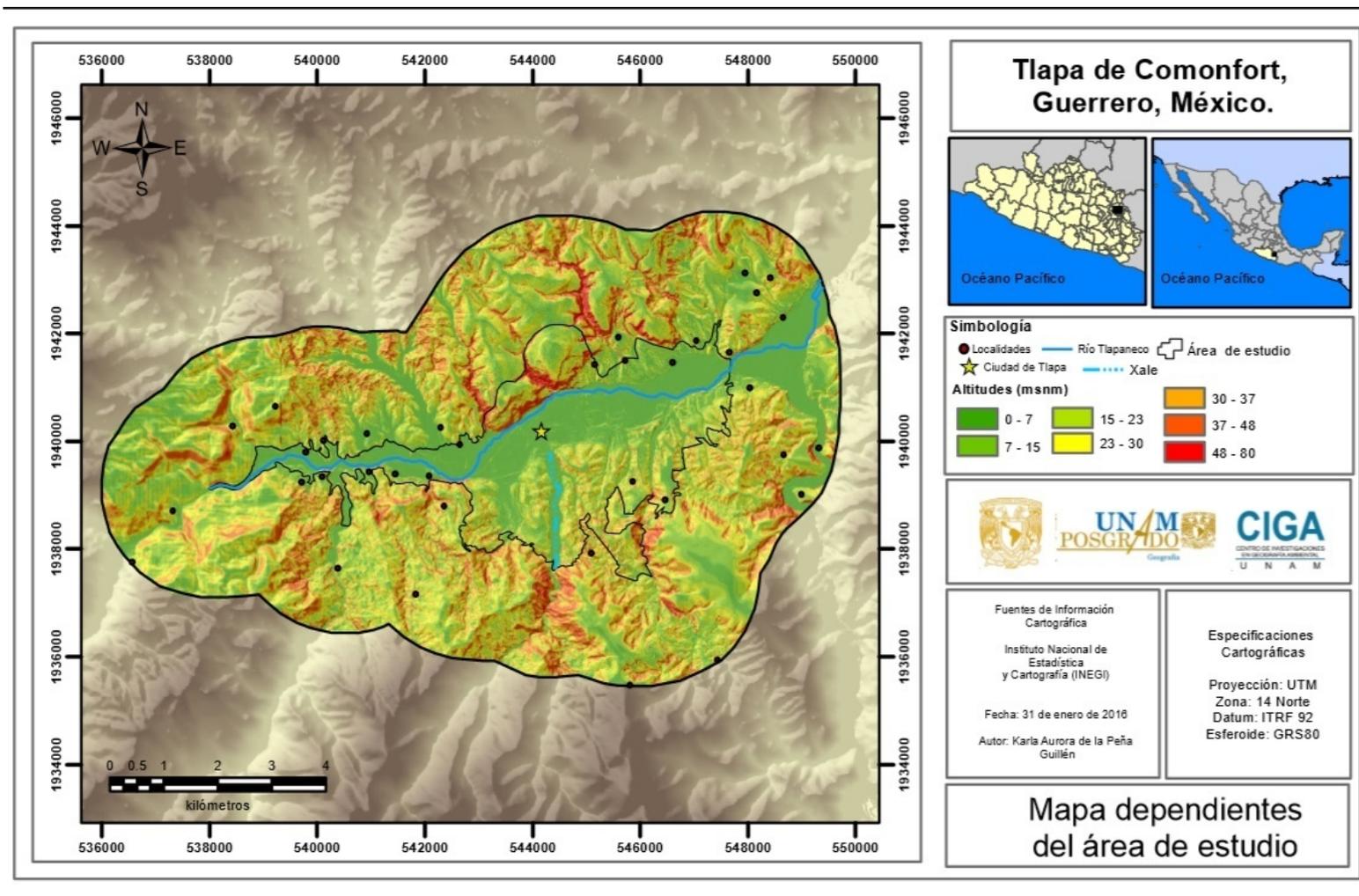


Figura 19. Mapa de pendientes del área de estudio

Anexo 4. Técnicas de prevención de deslizamientos

4.1 Medidas estructurales

Este tipo de medidas involucran cualquier construcción física para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas, o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a las amenazas (ONU, 2009).

4.1.1 Procedimientos y enfoques de diseño en medidas estructurales de prevención por deslizamientos.

Con base a la experiencia de Holtz, Schuster (1996), en la práctica convencional la estabilidad de laderas es expresada en términos del factor de seguridad, es por eso que para poder ejecutar las medidas de mitigación correspondientes en todos los casos se debe tomar en consideración los cambios en la fuerza del suelo, las condiciones de los mantos acuíferos, la posible actividad sísmica u otros factores ambientales que se encuentren presentes en el sitio en particular. Una vez teniendo estas bases se puede implementar el correspondiente método dependiendo del enfoque que se le dará a la construcción del diseño para la estabilidad de las laderas, y estos pueden ser categorizados de la siguiente manera (Holtz, Schuster, en Turner, A. K., Schuster, A., 1996): Prevención y mitigación de deslizamientos. Los deslizamientos pueden ser prevenidos por medio de la estabilización de las pendientes. Para dicha tarea hay que ejecutar tres enfoques básicos como:

1.- **Métodos geométricos:** En este enfoque la geometría de la pendiente juega un papel importante, dependerá del tipo de material de la pendiente (roca o suelo) las técnicas que se requerirán para modificarla (Beer, 2010). (Figura 20).

- Remoción de Materiales de la Cabecera

- Abatimiento de taludes
- Escalonamiento de talud
- Pie de talud

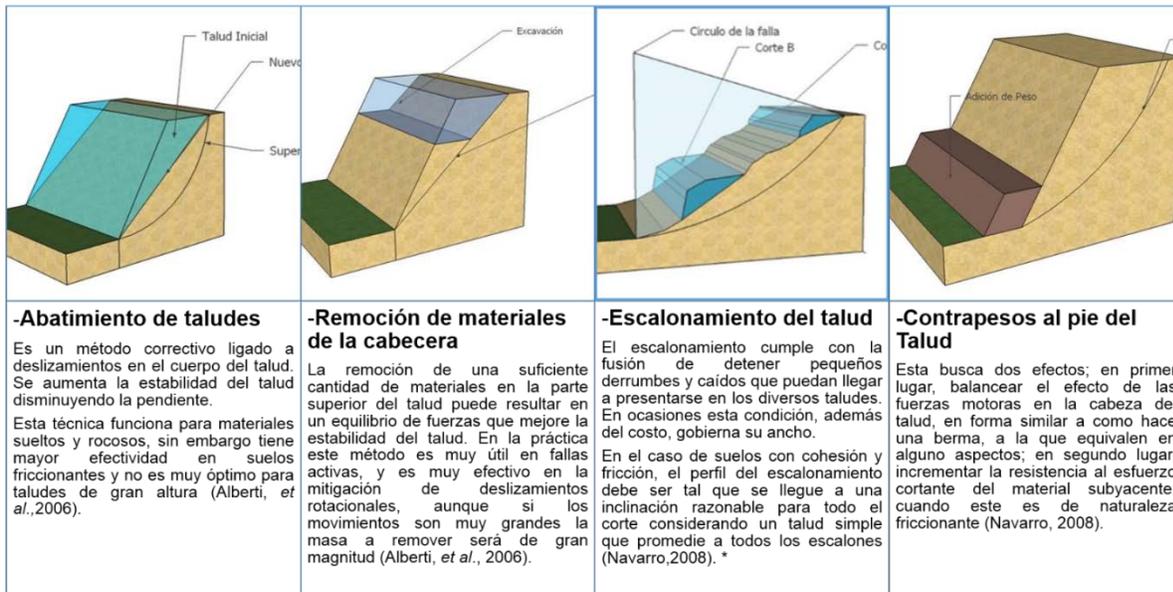


Figura 20. Métodos geométricos para prevenir deslizamientos

2.-Métodos hidrogeológicos: Estos métodos atienden a hacer bajar el nivel del agua subterránea o para reducir el contenido de agua del material.

- Cunetas
- Contracunetas
- Subdrenes

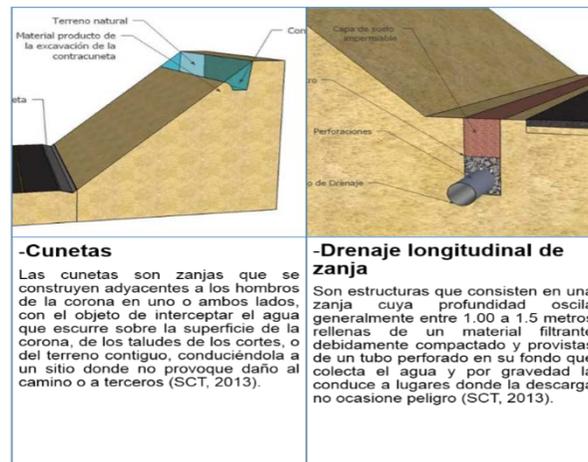


Figura 21. Métodos hidrológicos para prevención de deslizamientos

3.- Métodos mecánicos: En estos tipos de métodos el principal objetivo es aumentar la resistencia al cizallamiento de la masa inestable o introducir fuerzas activas externas (por ejemplo anclas, rocas o clavado suelo) o fuerzas externas pasiva (por ejemplo, pilas de pozos estructurales o de tierra reforzada) para oponerse a las fuerzas desestabilizadoras (Figura 21).

- Muros de concreto
- Muros de piedra
- Sistema de anclaje

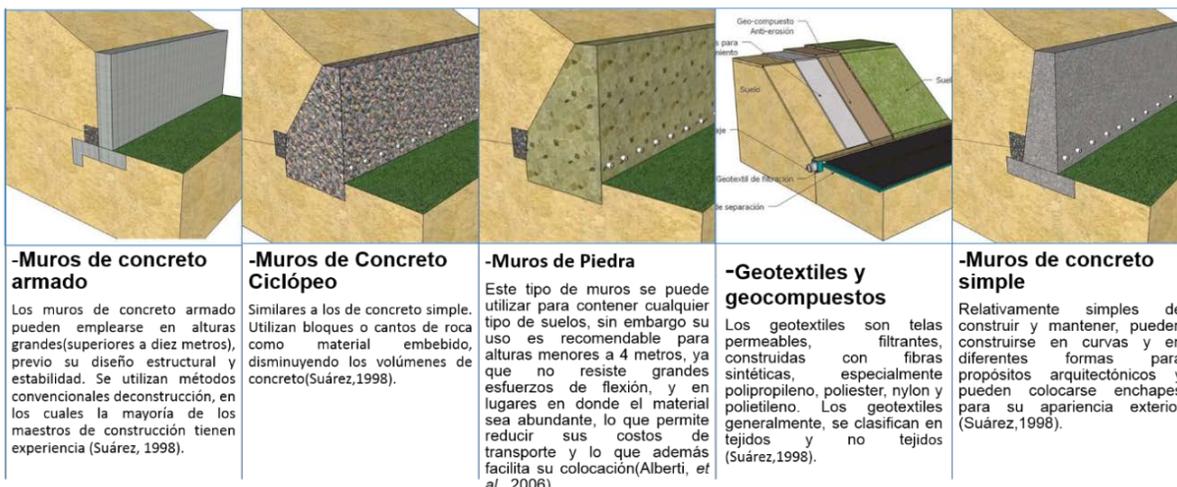


Figura 21. Métodos mecánicos para la prevención de deslizamientos

a) Sistemas de anclaje

Los anclajes son armaduras metálicas, alojadas en taladros perforadores desde el talud y cementadas (Alberti, *et al.* 2006), pueden usarse en forma ventajosa en cualquier situación en que se necesite la ayuda de la masa de suelo para soportar un determinado estado de tensiones (Ucar, 2002a)

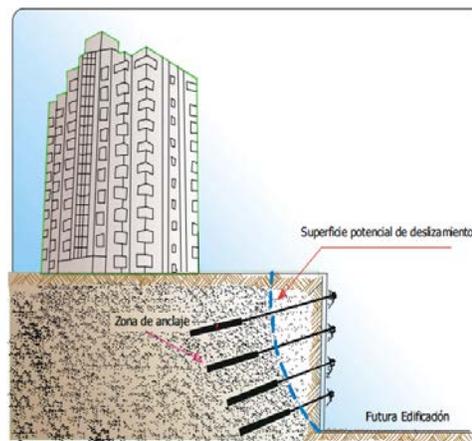


Figura 22. Muro anclado en centro urbano (Ucar, 2002b)

Así también se muestran historiales de algunos fenómenos naturales que se han presentado al menos en el municipio y la zona de estudio.

Anexo 5. Eventos de inestabilidad de laderas en Tlapa de Comonfort y al rededores.

A continuación se presentan algunos eventos ocurridos en la ciudad de Tlapa, otras comunidades del municipio y comunidades pertenecientes a otros municipios pero aledañas a Tlapa que han sido afectadas por deslizamientos, esta información fue obtenida de la base de datos DesInventar, reconocida por ser un sistema de adquisición, consulta y despliegue de información sobre desastres de pequeños, medianos y grandes impactos, con base en datos preexistentes, fuentes hemerográficas y reportes de instituciones (DesInventar, 2013).

Año 1999

Junio

- Las fuertes lluvias provocadas por el impacto de la onda tropical No. 8 provocaron deslizamientos que dejaron dañados caminos y el deceso de dos personas.

Año 2005

Julio

- Las fuertes precipitaciones provocadas por la onda tropical No. 17 el 17 de julio de 2005, cuando un deslizamiento dejó incomunicadas a numerosas comunidades del municipio de Tlapa, incluyendo a la cabecera municipal.

Agosto

- El 30 de agosto las fuertes lluvias provocadas por la tormenta José provocaron un deslizamiento que dejó bloqueada la carretera federal, dejando incomunicada a la ciudad de Tlapa con otras localidades.

Septiembre

- La onda tropical No. 32 dejó únicamente algunas comunidades incomunicadas en el municipio de Tlapa de Comonfort.

Año 2007

Junio

- Este año en el mes de junio, hubo embate de fuertes lluvias que provocaron un deslizamiento en el cual resultó dañada la carretera que conduce a las regiones de la Montaña alta de Guerrero, quedando bloqueada e incomunicando varios poblados.

Agosto

- Otro evento se suscitó el día 1 del mes de agosto por el paso de la tormenta tropical “Erick” que causó afectaciones en el municipio de Tlapa de Comonfort provocando varios deslizamientos en las carreteras dejan a 35 mil personas incomunicadas.
- la tormenta tropical “Erick”, el día 20 provocó el bloqueo completo de la carretera Marquelia-Tlapa de Comonfort.

Año 2008

Julio

- El día 20 de julio las intensas lluvias de la onda tropical No. 12 afectó a varias comunidades del municipio de Tlapa, dejando afectación sobre los caminos rurales que las comunican.

Septiembre

- Las fuertes lluvias de ese año ocasionaron que la carretera Tlapa-Marquelia quedara bloqueada provocando que la incomunicación de varias comunidades incomunicadas.

Año 2009

Noviembre

- Las fuertes lluvias del Frente frío No. 9 dejaron como consecuencia Carreteras bloqueadas en el municipio de Tlapa de Comonfort debido a la caída de rocas sobre ellas.

Año 2010

Julio

- Se presentaron lluvias fuertes debido a las ondas tropicales 13, 14 y 17, que provocaron severos daños sobre la carretera que conecta Tlapa con Marquelia donde un cerro se desgajó y dejó incomunicados municipios de la Costa Chica y la Montaña. El derrumbe también afectó la vía Tlapa-Metlatónoc.

Agosto

- El día 12 de agosto la onda tropical No. 22 y la tormenta tropical Frank dejaron daños en: la carretera Tlapa-Alcozauca dejando bloqueo total en ésta, Carretera

Tlapa-Marquelia el desgajamiento de un cerro dejó 3 muertos y una persona lesionada; Carretera Marquelia-Tlapa Derrumbe sepulta 2 vehículos y deja 1 persona muerta y 2 lesionados; las carreteras Carretera Tlapa-Chilapa, comunidad Chiepetepec y Carretera Atlamajalcingo del Monte-Tlapa con Bloqueo parcial de carretera.

Año 2011

Julio

- Varios derrumbes provocan el bloqueo de la sobre la carretera que conecta a la ciudad de Tlapa con Marquelia, dejando varias comunidades incomunicadas a consecuencia de las fuertes lluvias dejadas por el huracán Calvin.

Noviembre

- Ese mismo año hubo Bloqueo parcial de carretera Tlapa-Alcozauca por varios derrumbes en el mes de julio a consecuencia de las fuertes lluvias de esa temporada.

Año 2013

Septiembre

- En la región de la Montaña el 21 de septiembre la tormenta tropical "Manuel" provocó al menos 29 muertos y cientos de personas que abandonaron sus poblados debido a que fueron arrasados por Ríos y "deslaves", así como también zona incomunicadas por que las carreteras habían sido destrozadas y decenas de hectáreas de cultivos afectadas, (La Jornada, 2013).

Año 2016

Julio

- La mañana de este martes hubo un sismo de 5.1 en escala de Richter al oeste del municipio de Tlapa de Comonfort. El Servicio Sismológico Nacional (SSN) informó que el movimiento ocurrió a las 8:42 de la mañana, mientras las autoridades de Protección Civil, de manera preliminar, dijeron que no ocurrió ninguna afectación en el estado. Consultado por teléfono, el secretario de Protección Civil estatal, Marco César Mayares Salvador comentó que sólo hubo derrumbes en carreteras en Tlapa pero no hubo afectaciones a la integridad física de la población (Blancas, 2016).